



أغشيه ثاني أوكسيد القصدير SnO_2 النانويه الرقيقه المحضرة بخطوة واحدة بسيطة بواسطة فرن المايكرويف وأستخدامها كمتحسس لغاز الأمونيا

فراس كامل محمد العصفور
قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة كربلاء، العراق
تاريخ الاستلام: 2016 / 5 / 10
تاريخ قبول النشر: 2016 / 7 / 29

Abstract

For the first time, tin dioxide (SnO_2) have been one-step synthesized as thin films by microwave method and used as gas sensor. These films were characterized using X-ray diffraction (XRD) and field emission scanning electron microscopy (FESEM) to study their ctystal structure and morphology. The X-ray diffraction study confirm that all the synthesized SnO_2 thin films have tetragonal cassiterite structure, with lattice constants ($a = b = 4.738\text{Å}$ and $c = 3.187\text{Å}$). The FESEM imges shows that the surface morphology of the samples were homogeneous and have regular grain distribution. The sensing performance of SnO_2 thin films were examined under the presence of ammonia (NH_3) gas. The experiments were inducted in a wide range of operating temperatures (300–500) $^{\circ}\text{C}$. The performance of the sensor prepared at (70%) microwave power exhibited the highest sensitivity of (5.44) when exposure to (1000) ppm NH_3 at (350) $^{\circ}\text{C}$. The lowest response time achieved by the SnO_2 nanoparticles prepared in (70%) microwave power was (18) s against (100) ppm ammonia. These results indicated that a modification in the morphology of sensing device may strongly affect the sensitivity and optimum operating temperature as well as the respond time.

Key words

microwave power, ammonia, tin dioxide, gas sensor



الخلاصة

لأول مرة، ثاني أكسيد القصدير (SnO_2) تم تحضيره بخطوة واحدة كأغشية رقيقة بطريقة المايكرويف ومن ثم استخدم كمتحسس للغازات. لقد تم فحص هذه الأغشية باستخدام حيود الأشعة السينية و المجهر الألكتروني المسح ذات الأنبعث المجالي لدراسة تركيبها البلوري و مورفولوجيا سطحها. أن دراسة حيود الأشعة السينية أكدت أن جميع الأغشية الرقيقة SnO_2 المحضرة لها تركيب رباعي الزوايا (tetragonal cassiterite)، مع ثوابت الشبيكة البلورية ($a = b = 4.738 \text{ \AA}$ و $c = 3.187 \text{ \AA}$). لقد أوضحت صور المجهر الألكتروني بأن سطوح العينات متجانسة وذات توزيع حبيبي منتظم. تم فحص أداء الأغشية الرقيقة من SnO_2 للتحسس بوجود غاز الأمونيا (NH_3) تحت مدى واسع من درجات حرارة التشغيل (300 - 500) درجة مئوية. أن أداء أجهزة التحسس التي أعدت في (70%) من قدرة المايكرويف قد أبدت أعلى حساسية وهي (5.44) عند التعرض إلى (1000) جزء في المليون من غاز NH_3 عند (350) درجة مئوية. وكان أقل زمن مستغرق للاستجابة لغاز الأمونيا بتركيز (100) جزء في المليون بواسطة SnO_2 والتي حضرت في (70%) من قدرة المايكرويف هو (18) ثانية. وأشارت هذه النتائج إلى أن التغيير في المورفولوجيا للعينات قد تؤثر بشدة على الحساسية، درجة حرارة التشغيل المثلى وزمن الاستجابة.

الكلمات المفتاحية

طاقة المايكرويف، أمونيا، ثاني أكسيد القصدير، المتحسس الغازي

1. المقدمة

حالياً يحاول العلماء بالتحكم بالمورفولوجيا و التركيب البلوري لأكاسيد المعادن عند تحضيرها لتحسين ادائها [5]. لقد كرس الباحثين الكثير من جهودهم لتحضير جسيمات ثاني أوكسيد القصدير SnO_2 النانوية وتحويلها من حيث المورفولوجي وطور البنية التركيبية بأستخدام طرق تحضير مختلفة، مثل طريقة التحضير الهيدروحرارية (hydrothermal) [6]، محلول-هلام (sol-gel) [7]، الأنودة (anodization) [8] وطريقة القالب [9] (template) في هذا البحث، تم لأول مرة تحضير أغشيه ثاني اوكسيد القصدير SnO_2 النانويه الرقيقه مباشرة بخطوة واحدة و بواسطة بأستخدام فرن المايكرويف، وقد تلقت هذه الطريقة بشكل عام أهتمام خاص بسبب سهولة التحكم بظروف التحضير وسرعه الأنجاز لغرض الحصول على جسيمات SnO_2 النانوية المنتظمة التركيب البلوري.

2. الجزء العملي

2.1. طريقة التحضير

تمت عملية تحضير أغشية ثاني أوكسيد القصدير SnO_2 بأستخدام فرن المايكرويف كمصدر حراري ذو مواصفات (Sharp model R-369T) و طاقه قصوى مقدارها (1100) W. ويتم التحضير أولاً بإعداد المحاليل المائية لكل من كلوريد القصدير المائي ($\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) وسترات الصوديوم ($\text{Trisodium citrate, Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$) و بورهيدريد الصوديوم NaBH_4 . وقد جهزت هذه المواد بنقاوة عالية (99.9%) من شركة سيكما (Sigma Aldrich). تتم إذابة كل من هذه المواد في 10 ml من الماء منزوع الأيونات (DIW) كل على حدة للحصول على تركيز 1 M. تخلط جميع المحاليل مع التحريك المستمر

أن ازدياد الحاجة الى الكشف المبكر عن تسرب الغازات سواء في المنازل أو المصانع دفع الباحثون للأهتمام بتطوير متحسسات الغاز لتكون ذات كفاءة عالية وكلفه زهيدة. وقد تكون هذه الغازات إما قابله للاشتعال (Combustible) gas) والتي يكشف عنها بأستخدام تقنيات العامل المساعد أو الاشعه تحت الحمراء. أو قد تكون غازات سامة (Toxic gas) يكشف عنها بالطرق الاكتروكيميائية او بأستخدام أكاسيد المعادن شبه الموصله [1]. إن متحسسات الغازات المصنعة من أشباه الموصلات و تحديداً أكاسيد المعادن (على سبيل المثال، WO_3 ، In_2O_3 ، ZnO ، SnO_2 ، TiO_2) تمتاز بالعديد من المزايا منها صغر الحجم، والحساسية العالية وإمكانية الترسيب على مختلف الركائز كما وتعد ذات تكلفة زهيدة [2]. إن اعتماد المقاومة الكهربائية على الحدود الحبيبية (grain boundary) في المتحسسات يؤدي إلى تأثر أدائها بالحجم [3]. لذا فقد ركز العلماء والباحثين جهودهم في السنوات الأخيرة على تحضير المواد بأبعاد النانومتر و تطوير أستخدام هذه المواد في مختلف التطبيقات وذلك لكونها مواد ذات مواصفات مميزة. من بين هذه المواد هو ثاني أوكسيد القصدير SnO_2 وهو مادة شبه موصله ذو فجوة طاقه واسعة النطاق (3.6 e.V). وقد تم أستخدامه بشكل كبير كمتحسس للغازات كونه ذو حساسية عالية تجاه أنواع مختلفة من الغازات [4]. ومن العوامل الأخرى التي تؤثر على أداء المتحسسات هو زيادة المساحة السطحية للطبقة الفعالة إذ أهتم العديد من الباحثين بتحضير مواد بلورية ذات مساحة سطحية كبيرة، حيث تكون خصائص وأنشطة المواد البلورية حساسة جدا على سطح التراكيب الذرية وخاصة في التطبيقات التي تشتمل على تفاعلات سطحية مثل متحسسات الغازات والخلايا الشمسية. فلهذا السبب



أُستخدِمت المنظومة الموضحة بالشكل (1). يُبين المخطط أن المنظومة مؤلفة من حجرة تتم فيها الأختبارات حيث يزود الغاز المرغوب بأستخدامه من أسطوانات خاصة. يُضخ الغاز من الأسطوانة ويتم التحكم بتدفق الغاز بواسطة صمامات خاصة بحيث يمكن الحصول على التركيز المطلوب بواسطة مقياس تدفق الكتلة (Mass Flow Meter). كما أن المنظومة مزودة بدائرة كهربائية خارجية لقياس ورصد التغيرات بالمقاومة الكهربائية. حيث يُستخدم لقراءة وتسجيل المقاومة عدادات رقمية ذات دقة عالية مرتبطة بالحاسوب. أن تحسس العينات بغاز الأمونيا قد دُرِسَ تحت ضغط ثابت. في البدء كل العينات تُسخن بدرجة حرارة $^{\circ}\text{C}$ (250) لمدة (30) دقيقة قبل التشغيل.

دُرِسَت مقاومة المتحسسات للحصول على معلومات عن درجة حرارة التشغيل، الحساسيه و زمن الأستجابة. أن القياسات تم تكرارها عدة مرات للحصول على نتائج دقيقة. لدراسة وإيجاد درجه حرارة التشغيل المثلى يُمرر غاز الأمونيا NH_3 بتركيز ثابت (1000) ppm ويتم تغيير درجة الحرارة من $^{\circ}\text{C}$ (230) ألى $^{\circ}\text{C}$ (500) بفاصل حراري $^{\circ}\text{C}$ (10). ثم تُقاس مقاومة المتحسس عند درجات الحرارة المتغيرة بوجود غاز NH_3 مره و بوجود الهواء النقي الجاف مرة أخرى. وقد تم اعتماد المعادلة التالية لحساب حساسية العينات [10]

$$(1) S = \frac{R_a}{R_g} \quad (1)$$

أذ أن S تمثل الحساسيه، R_a ترمز لمقاومة المتحسس في الهواء الجاف و R_g هي مقاومته بوجود غاز الأمونيا.

يمكن دراسة سرعة أستجابة العينات للغاز عن طريق تمرير الغاز والهواء بالتناوب على العينة. أولاً يمرر الهواء الجاف النقي ثم يتم تمرير غاز الأمونيا بتركيز معين ppm

بدرجة حرارة الغرفة. بعدها توضع الركائز الزجاجية المنظفة سلفاً داخل قارورة محكمة مصنوعة منزلياً من التفلون، ثم يسكب المحلول المحضر داخل القارورة و توضع القارورة داخل المايكروويف ولمدة عشر دقائق من زمن تشغيل المايكروويف. لقد أستخدمت تباعاً ثلاث طاقات لتحضير العينات وهي (10%, 30%, 07%) من طاقة المايكروويف الكلية لغرض دراسة تأثير طاقة المايكروويف على تركيب وأداء العينات. وقد أطلقت تسمية (Sn70%, Sn10%, Sn30%) على العينات المحضرة وذلك اعتماداً على طاقة المايكروويف المستخدمة. بعد أنتهاء زمن تشغيل الفرن، تترك العينات حتى تبرد، وتستخرج و يتم غسلها عدة مرات بالإيثانول ثم بالماء منزوع الأيونات وتجفف في درجة حرارة الغرفة.

2.2. الخواص التركيبية والمورفولوجية

تمت دراسة الخواص التركيبية للعينات بأستخدام تقنية حيود الأشعة السينية XRD بواسطة جهاز Bruker D8 Discover ذي هدف من نوع Cu-K α وذو طول موجي (1.5406Å). وقد أستخدم برنامج X'Pert Highscore لتحليل نتائج حيود الأشعة السينية وهو برنامج مرفق مع جهاز الأشعة السينية، يقوم بتحليل النتائج أوتوماتيكياً حيث يأخذ بنظر الأعتبار إضافة عامل تصحيح الألتساع عند حساب الحجم البلوري للعينات المحضرة. أما الصفات المورفولوجية فقد شخصت بواسطة المجهر الألكتروني المسح ذو الأنبعثات المجالي FE-SEM موديل (SUPRA 55VP).

2.3. إختبارات أداء متحسسات الغاز

لدراسة تحسس العينات بمرور غاز الأمونيا، فقد

الشكل (3) يبين دراسة سطح العينات بواسطة المجهر الألكتروني الماسح. يتضح من الشكل بأن سطوح العينات ذات توزيع حبيبي منتظم و متجانس حيث أن هنالك طبقة خفيفة من SnO_2 تغطي الركيزة بالكامل تعلوها تراكيب نمت مكونة أشكال متناظرة. يوضح مسح العينة ($\text{Sn}10\%$) بان طاقة المايكرويف الواطئة إدت إلى نمو طبقة رقيقة من (SnO_2 thin film) وتناثر فوقها جسيمات متباعدة. بينما عندما أستخدمت طاقة المايكرويف المتوسطة كما في العينة ($\text{Sn}30\%$) تكوّن SnO_2 على هيئة تراكيب تشابه وريقات نبات الفراولة نمت فوق SnO_2 thin film. وعند استخدام طاقة مايكروف عالية كالعينة ($\text{Sn}70\%$) فقد نمت فوق SnO_2 thin film شبكة متفرعة ذات نهايات حرة مشابه لأغصان الأشجار المتشابكة الكثيفة. إن هذه التضاريس السطحية تؤثر بشكل كبير على أداء هذه العينات كمتحسس للغاز، حيث إن تفاعل العينة مع الغاز يعتمد على مساحة الجزء المعرض للغاز بالنسبة للحجم الكلي للعينة (surface to volume ratio).

2.3. أداء متحسسات الغاز

للتحقيق ومقارنة خصائص SnO_2 كمتحسس لغاز NH_3 يجب أولاً تحديد درجة حرارة التشغيل المثلى وكما مبين في الشكل (4). لقد تم اختبار سلوك العينات الثلاث ($\text{Sn}10\%$, $\text{Sn}30\%$, $\text{Sn}70\%$)، اتجاه تغيير درجات الحرارة وذلك بقياس حساسيتها عند تعرضها لغاز NH_3 بتركيز ثابت ppm (1000) في درجات حرارية مختلفة تتراوح بين (230 - 500) °C بفواصل حراري مقداره (10 °C). ويتضح جلياً من الشكل (4) بأن لدرجات الحرارة تأثيراً قوياً على منحني إستجابة المتحسسات لغاز NH_3 إذ تزداد الأستجابة بارتفاع درجات الحرارة لتبلغ

(100) للمدة نفسها (هواء-أمونيا) ثم يطرد الأمونيا بتمرير الهواء مجدداً (أمونيا - هواء). وتكرر العملية ثلاث مرات ويتم ذلك في حجرة الأختبار لمدة زمنية مقدارها (300s). ويُحسب وقت الأستجابة والأستعادة (response and recovery time) على أساس مقدار الوقت الذي يستغرقه المتحسس لتحقيق (90%) من التغيير الكلي للمقاومة عند دخول الغاز وعند خروجه.

3. النتائج والمناقشة

1.3. الخواص التركيبية

يُبين حيود الأشعة السينية للعينات في الشكل (2) بأن الطيف المنعكس عنها مطابق لثاني أكسيد القصدير SnO_2 النقي. الشبيكة البلورية رباعية الأوجه ذات طور الكاسترايت رباعي الزوايا (Tetragonal Cassiterite) تطابق النتائج التي تم الحصول عليها من بطاقة (JCPDS 041-1445). وقد تم إيجاد ثوابت الشبيكة ($a=b=4.738\text{Å}$) ($c=3.187\text{Å}$). وبصورة عامة أن إتساع القمم إنما يدل على صغر قطر البلورات. أظهرت النتائج أن القمم المنعكسة من العينة ($\text{Sn}10\%$) تكون أقل شدة من تلك التي إنعكست من العينتين ($\text{Sn}30\%$) و ($\text{Sn}70\%$). ويمكن أن يُعزى ذلك إلى أن العينة الأولى ذات كثافة قليلة وهذا يتفق مع ما توصل إليه باحثون آخرون [12,11]. نلاحظ أيضاً إن زيادة قدرة المايكرويف عملت على تحويل المستويات البلورية السائدة من (110) الى (211). كذلك تم حساب الحجم البلوري للعينات المحضرة وكما مدرج في الجدول (1). ونلاحظ إن الحجم البلوري يتراوح من nm (5) الى nm (7.4) وبذلك نجد إن حجم البلورات المحضرة في هذا البحث صغير عند مقارنته مع الأبحاث المنشورة سابقاً حيث تتراوح بين nm (8-10) [13].



بعد تحديد درجة حرارة التشغيل المثلى تم اختبار أنماط أستجابة العينات لتراكيز مختلفة من غاز الأمونيا NH_3 (100، 500، 1000) جزء بالمليون (ppm)، حيث تم الاختبار تحت درجة الحرارة المثلى لكل منهم. من الشكل (5) تبين منحنيات إستجابة العينات ($Sn30\%$, $Sn10\%$, $Sn70\%$)، زيادة الحساسية مع زيادة تركيز غاز NH_3 وكما كان متوقفاً. ويمكن ملاحظة أن العينة ($Sn (70\%)$ لديها أعلى إستجابة إتجاه تراكيز غاز NH_3 ويمكن أن يعزى هذا السلوك إلى التركيب المورفولوجي لهذه العينة مما يدل على أن الأستجابة هي ذات إعتقاد مباشر على مورفولوجيا العينة. وجدنا من الشكل (6) أن إستجابة العينات لغاز NH_3 تبدي علاقة طردية مع تركيز الغاز.

إن لدراسة وتحديد زمن الأستجابة والأسترداد لتحسسات الغاز أهمية كبيرة في التطبيقات العملية. الشكل (7) يبين التغيير في مقاومة العينات عند التعرض لغاز NH_3 بتركيز (100) جزء في المليون عند درجة الحرارة المثلى لكل منها. تم حساب زمن الأستجابة للتعرض للغاز [$T90\%$] (هواء-امونيا) وكذلك حسب زمن الأسترداد [$T90\%$] (امونيا-هواء). من الشكل نجد أن زمن الأستجابة والأسترداد للعينة ($Sn (10\%)$) حوالي (23 و 27) ثانية، على التوالي. في حين تكون القيم للعينة ($Sn (30\%)$) هي حوالي (24 و 46) ثانية تباعاً. أما للعينة ($Sn (70\%)$) فأن الزمن اللازم للأستجابة والأسترداد هو (18 و 29) ثانية. إن جميع النتائج أدرجت في الجدول (2). تبين هذه النتائج أن أقل زمن مستغرق للأستجابة لمرور الغاز هو للعينة ($Sn (70\%)$) مما يدل إنها تعمل بأداء جيد.

كما نلاحظ من الشكل رقم (7) بأن مقاومة العينات في الهواء ليست متساوية حيث أن مقاومة العينة ($Sn (10\%)$) أعلى من مقاومة العينة ($Sn (70\%)$). أن هذا السلوك يعزى إلى

أعلى قيم لها عند (350, 380, 450) °C وهذه القيم تمثل درجة حرارة التشغيل المثلى لكل من ($Sn30\%$, $Sn10\%$, $Sn70\%$)، على التوالي. ثم تبدأ بالانخفاض تدريجياً بزيادة درجات الحرارة ليتخذ المنحنى شكل جرس ويمكن تفسير هذا السلوك بأن مقاومة SnO_2 تكون عالية عند درجات الحرارة المنخفضة وذلك لقلّة حاملات الشحنة في حين عند ارتفاع درجات الحرارة تقل هذه المقاومة بسبب ازدياد حاملات الشحنة. كذلك نلاحظ أن أداء العينات متباين إذ ان حساسية العينة ($Sn (10\%)$) منخفضة ولم يتجاوز (2.1) ويعزى ذلك للمساحة السطحية الصغيرة للعينة ولذا فان الجزء المتعرض للغاز من المادة الفعاله للعينة قليل. وبما أن ميكانيكية التحسس للغاز تعتمد على أمتزاز الاوكسجين الجوي من على سطح المادة الفعالة حيث ينتزع الأكترونات من المواد شبه الموصله مما يسبب تغير في كثافة حاملات الشحنة وبالتالي تغيير المقاومة. لذا فأن صغر المساحة السطحية يؤدي الى إنخفاض عدد الألكترونات المتفاعلة وبالتالي ارتفاع المقاومة (إنخفاض الحساسية). بالنسبة للعينة ($Sn (30\%)$) فان حساسيتها أعلى وتصل الى (3.02) رغم أن درجة حرارة التشغيل المثلى لها أقل، وذلك لزيادة كثافة وانتشار الحبيبات النانوية على سطح الركييزة والذي يؤدي الى ازدياد تفاعلات الجسيمات مع جزيئات الغاز على السطح وكذلك فان تقارب الحبيبات من بعضها على السطح يزيد من حاملات الشحنة وبذلك تنخفض مقاومة العينة لذلك تنخفض درجة حرارة التشغيل. أما العينة ($Sn (70\%)$) فتميزت بأستجابة عالية تصل إلى (5.4) عند درجة حرارة تشغيل °C (350) وهي أوطى من العينات السابقة، ويعود ذلك إلى مورفولوجيا العينة والتي تمتاز بشكل يسهل أنتقال حاملات الشحنة مما يخفض درجة حرارة التشغيل ويسهل تفاعل الجسيمات مع جزيئات الغاز.

إنتقال حاملات الشحنة وتوفير مواقع أكثر نشاطا للتفاعل مع الغاز. وهكذا فأن تحضير SnO_2 بشكل نانوي متشعب أظهر إمكانيات كبيرة في تطبيقات التحسس بالغاز. وعلاوة على ذلك، فان هذا العمل يطرح طريقة بسيطة وجديدة تمكن الباحث من السيطرة والتحكم على أشكال وتراكيب المركبات المحضرة و التي يمكن أن تطبق على المواد الأخرى من أكسيد المعادن، مثل WO_3 ، In_2O_3 ، ZnO ، و TiO_2 .

References

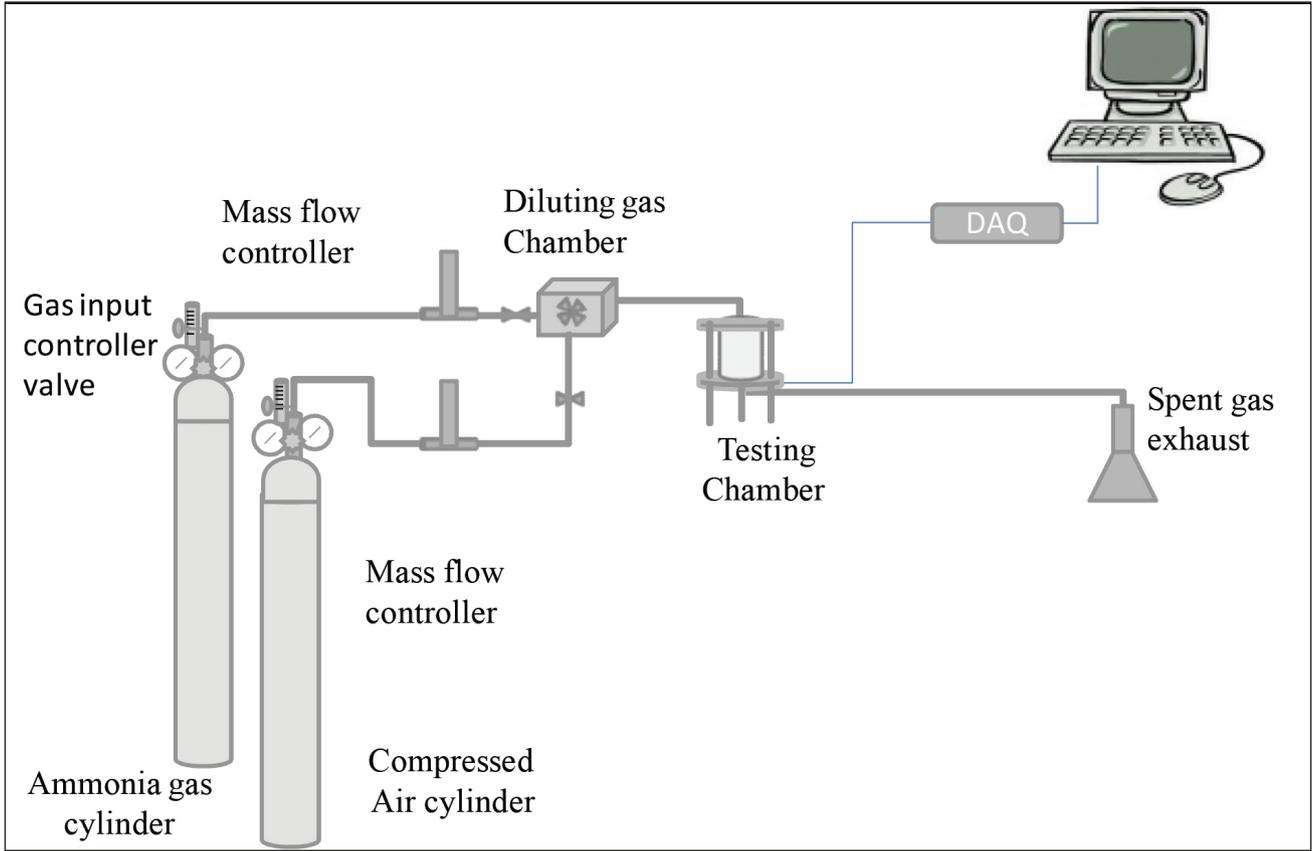
- [1] Mondal B, Meetei M, Das J, Chaudhuri C R, Saha H. Quantitative recognition of flammable and toxic gases with artificial neural network using metal oxide gas sensors in embedded platform. Engineering Science and Technology, an International Journal. ;18:229-34. (2015).
- [2] Wang C, Yin L, Zhang L, Xiang D, Gao R. Metal oxide gas sensors: sensitivity and influencing factors. Sensors. ;10:2088-106. (2010).
- [3] Yoo K, Han S, Moon H, Yoon S, Kang C. Highly sensitive H_2S sensor based on the metal-catalyzed SnO_2 nanocolumns fabricated by glancing angle deposition. Sensors. ;15:15468-77. (2015).
- [4] Sohn J, Kim S, Kim Z, Yu Y. H_2S gas sensing properties of SnO_2 : CuO thin film sensors prepared by E-beam evaporation. Transactions on Electrical and Electronic Materials. ;10:135-9. (2009).
- [5] Trakhtenberg L, Khatami S, Gerasimov G, Ilegbusi O. Effect of composition and

التركيب المورفولوجي حيث إن العينة $\text{Sn}70\%$ ذات تركيب متشعب مما يسهل عملية أنتقال حاملات الشحنة بسرعة فتزداد التوصيلة نسبياً. من الجدول (3) نلاحظ ان نتائج هذا البحث جيدة مقارنة بالدراسات التي اجريت سابقاً.

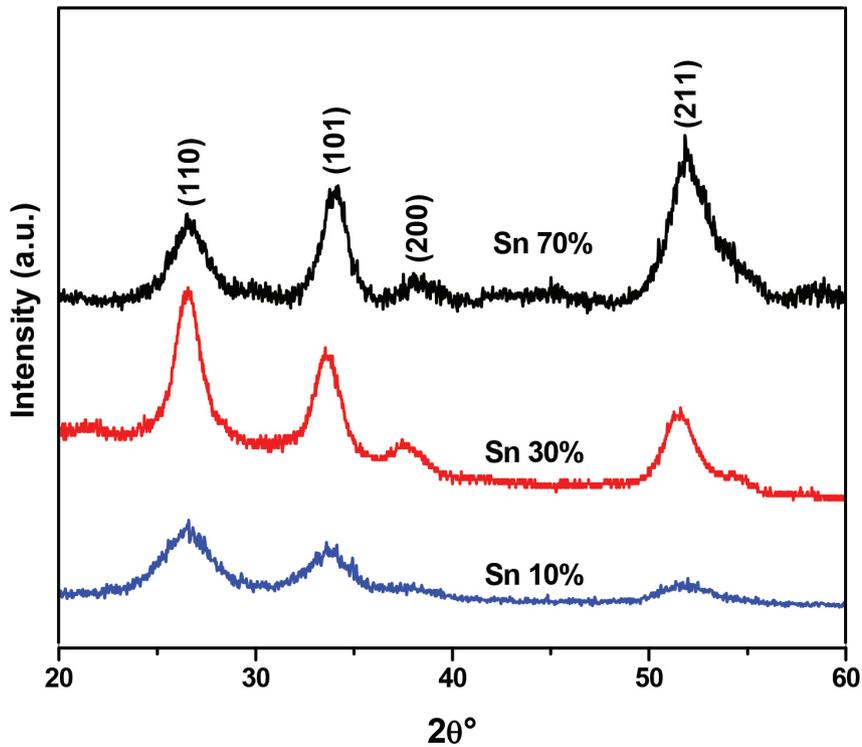
4. الأستنتاجات

لقد تمت تنمية ثاني أكسيد القصدير SnO_2 بنجاح على ركائز زجاجية لتعمل كمتحسسات لغاز الأمونيا. لقد أظهرت هذه الدراسة إن العينات المحضرة بواسطة المايكرويف هي أغشية رقيقة تتكون من ثنائي أكسيد القصدير SnO_2 النقي ذات الشبيكة البلورية رباعية الأوجه بطور الكاسرات رباعي الزوايا. وقد بينت الدراسة أيضاً أن التركيب المورفولوجي للعينات قد تأثر بقدرة المايكرويف حيث أزداد توزيع وانتشار المركب على سطح الركيزة بأزداد القدرة. وقد تم استخدام هذه العينات كمتحسس للغاز بمدى واسع من درجات الحرارة لإيجاد الحرارة المثلى لكل منهم وقد تبين أن العينة التي حضرت عند قدرة المايكرويف العالية تعمل بدرجات حرارية واطئة مقارنة بباقي العينات. وبالرغم من أن درجة حرارة التشغيل اوطىء إلا أن الحساسية أعلى من باقي العينات وذلك بسبب التركيب الذي تتميز به هذه العينة. درست استجابة عينات SnO_2 كمتحسسات لغاز NH_3 في مدى متباين من التراكيز من (100) جزء من المليون الى (1000) جزء من المليون و تمت مقارنة أداء التحسس لكل منها بوجود الغاز. أظهرت مقارنة الأختبارات أن العينة التي حضرت عند القدرة (70%) تبدي أعلى حساسية لمرور الغاز مع زمن أستجابة أسرع. يمكن أن يعزى الإداء الجيد لهذه العينة إلى الكثافة العالية للعينة وكذلك التركيب المتميز الذي يتسم بالتشابك والانتشار المتشعب على سطح الركيزة بالإضافة الى وجود النهايات الحرة مما يعزز سهولة

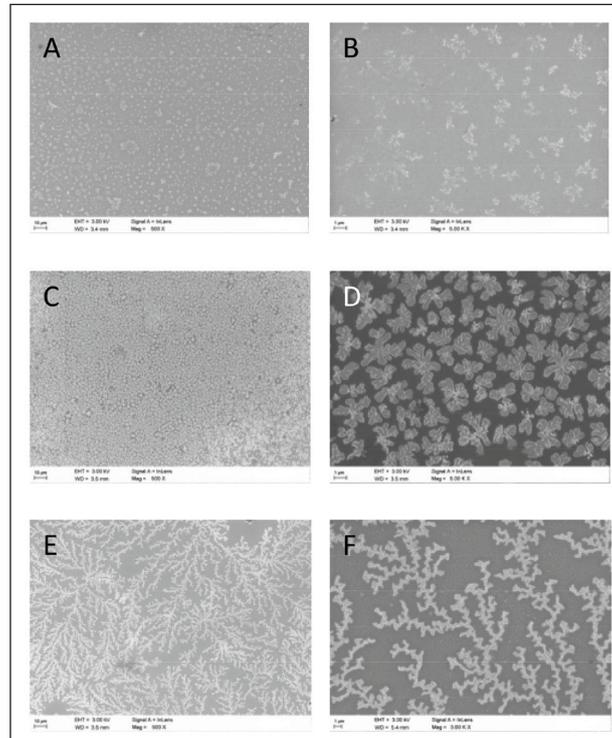
- [12] Gaspar D, Pimentel A, Mateus T, Leitao J, Soares J, Falcao B, Araújo A, Vicente A, Filonovich S, Aguas H, Martins R, Ferreira I. Influence of the layer thickness in plasmonic gold nanoparticles produced by thermal evaporation. *Scientific Reports*, ;3:1469-1474. (2013).
- [13] Naje A, Norry A, Suhail A. Preparation and characterization of SnO₂ nanoparticles. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. ;2: 7068- 7072. (2013).
- [14] Wang Y, Wu X, Su Q, Li Y, Zhou Z. Ammonia-sensing characteristics of Pt and SiO₂ doped SnO₂ materials. *Solid-State Electronics*. ;45:347-50. (2001).
- [15] Jacob R, Thomas J, George R, Kumaran M. Comparative study on ammonia sensing properties of SnO₂ nanocomposites fabricated via electrospinning and sol-gel processes. *International Journal of Research in Engineering and Technology*. ;3: 599-605. (2014).
- [16] Shao F, Hernandez F, Prades D, Morante R, Lopez N. Assessment and modeling of NH₃-SnO₂ interactions using individual nanowires. *Procedia Engineering*. ;47:293-7. (2012).
- [17] Radecka M, Kusior A, Lacz A, Trenczek A, Lyson B, Zakrzewska K. Nanocrystalline TiO₂/SnO₂ composites for gas sensors. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. ; 108:1079–1084. (2012).
- morphology on sensor properties of aerosol deposited nanostructured ZnO+ In₂O₃ films. *Materials Sciences and Applications*. ;6:220. (2015).
- [6] Chiu H, Yeh C. Hydrothermal synthesis of SnO₂ nanoparticles and their gas-sensing of alcohol. *The Journal of Physical Chemistry C*. ;111:7256-9. (2007).
- [7] Aziz M, Abbas S, Baharom W. Size-controlled synthesis of SnO₂ nanoparticles by sol-gel method. *Materials Letters*. ;91:31-4. (2013).
- [8] Li Y, Peng R, Xiu X, Zheng X, Zhang X, Zhai G. Growth of SnO₂ nanoparticles via thermal evaporation method. *Superlattices and Microstructures*. ;50:511-6. (2011).
- [9] Zhang H, Wang L, Tan Z, Li Z, Wang C, Jiao Z. Preparation of SnO₂ nanoparticles by hard template method for high selectivity gas sensor. *Nanoelectronics Conference (INEC), 3rd International: IEEE; 2010;12: 1242-3. (2010).*
- [10] Tian S, Gao Y, Zeng D, Xie C. Effect of zinc doping on microstructures and gas-sensing properties of SnO₂ nanocrystals. *Journal of the American Ceramic Society*. ;1: 436–442. (2012).
- [11] Shariffudin S, Salina M, Herman S. Effect of film thickness on structural, electrical, and optical properties of sol-gel deposited layer-by-layer ZnO nanoparticles. *Transactions on Electrical and Electronic Materials*. :(13), 102-105. (2012).



شكل (1) : مخطط للمنظومة المستخدمة في دراسة اداء متحسسات الغاز.

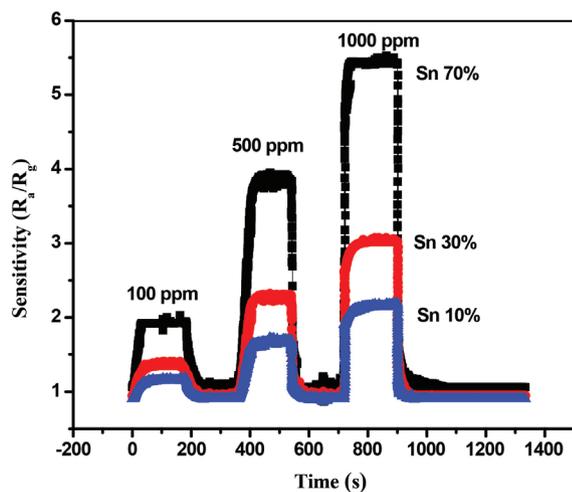


شكل (2): نمط حيود الاشعة السينية للعينات (Sn70%, Sn30%, Sn10%).

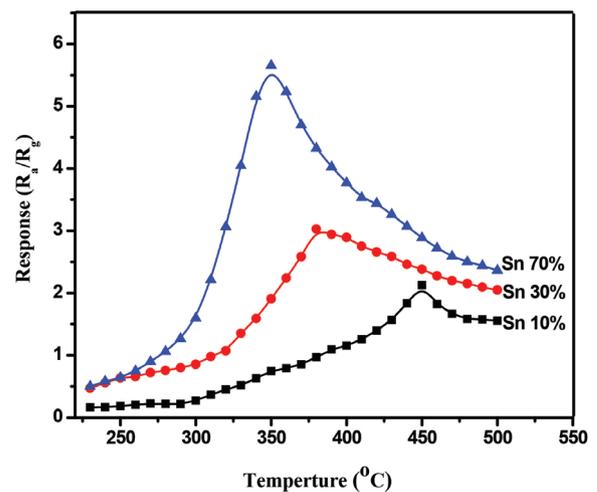


شكل (3): صور المجهر الإلكتروني الماسح لثاني أكسيد القصدير SnO_2 المحضر بواسطة المايكرويف حيث (A,B) يمثلان التكبير الواطئ والعالي الدقة على التوالي لمورفولوجيا

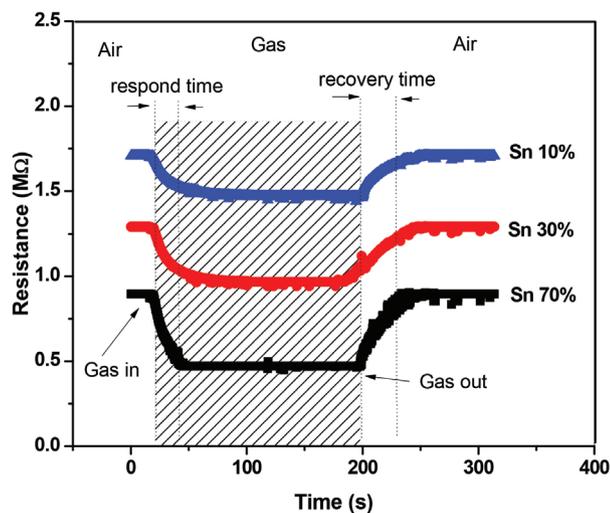
العينة (10% Sn) (C,D)، يمثل مورفولوجيا العينة (30% Sn) و (E,F) يمثل مورفولوجيا العينة (70% Sn).



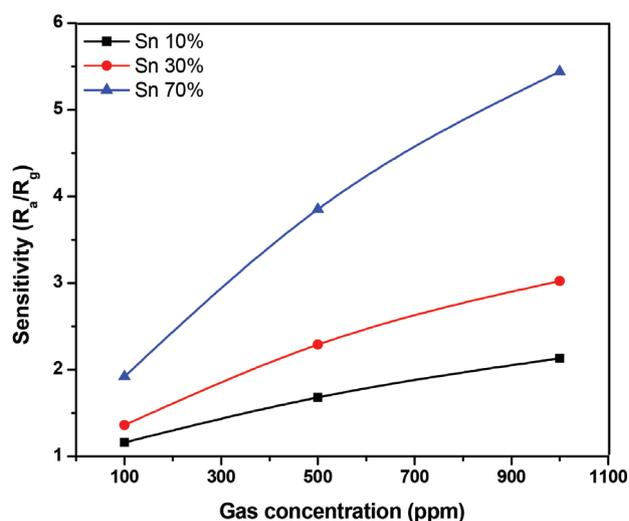
الشكل (5): إستجابة العينات لمروور تراكيز متباينة من غاز الأمونيا عند درجة الحرارة المثلى لكل منهم.



الشكل (4): إستجابة العينات عند تغير درجة حرارة التشغيل من 230 إلى 500 $^{\circ}\text{C}$ بوجود (1000 ppm) من غاز NH_3 (تحديد درجة الحرارة المثلى).



الشكل (7): زمن الاستجابة والأسترداد للعينات عند مرور (100ppm) من غاز الأمونيا عند درجة الحرارة المثلى لكل عينة.



الشكل (6): إستجابة العينات لمرور غاز الأمونيا عند درجة الحرارة المثلى لكل منهم.

جدول (1): يبين نتائج تحليل حيود الأشعة السينية للعينات (Sn70%, Sn30%, Sn10%) اذ يشمل قيم زوايا الانعكاس ومعاملات ميلر والمسافات البينية بين السطوح العاكسة والحجم البلوري للعينات.

Sample	θ 2 (degree)	(hkl)	d-spacing (Å)	FWHM θ 2 (degree)	Lattice % strain	Crystal size, D (nm)	Average Crystal size, (nm)
Sn10%	26.446	110	3.36	1.417	2.618	5.8	5.8
	33.8	101	2.63	0.944	1.356	8.8	
	51.61	211	1.76	3.072	2.772	2.9	
Sn30%	26.6	110	3.34	1.44	1.69	8.8	7.4
	33.6	101	2.66	1.53	1.53	7.8	
	51.5	211	1.77	1.53	1.41	5.6	
Sn70%	26.34	110	3.34	2.16	3.8	3.9	5
	34	101	2.63	1.44	2.05	5.8	
	51.99	211	1.75	1.68	1.51	5.3	



جدول (2): يبين الحساسية و زمن الاستجابة والاسترداد للعينات (Sn70%, Sn30%, Sn10%) بالنسبة للتغير في تراكيز الغاز.

Sample	(Sensitivity (R_a/R_g))			Respond time (s)	Recovery time (s)
	ppm 100	ppm 500	ppm 1000		
Sn10%	1.16	1.68	2.13	23	27
Sn30%	1.36	2.29	3.024	24	46
Sn70%	1.92	3.05	5.44	18	29

جدول (3): يبين نتائج مدرجة في الدراسات السابقة لمورفولوجيا متباينة من SnO₂ وتحسسه بغاز الامونيا، بتراكيز و درجات حرارة تشغيل متباينة.

Morphology SnO ₂	Response (R_a/R_g)	NH ₃ concentration (ppm)	Operating temperature °C	Reference
nanofiber	1.75	50-500ppm	225-400	[15]
nanowire	1.64	ppm 1000	250	[16]
nanoparticle	1.5	4500	400	[17]