تأثير زيادة تركيز بخار الميثانول على الخصائص التحسسية لأفلام سميكة من مساحيق أكسيد الزنك النانوية

مياده حبوس[1]

الملخص

حُضّر مسحوق أكسيد الزنك النانوي باستخدام مطحنة الكرات العالية الطاقة، وذلك لفترات زمنية مختلفة تراوحت بين 1 و18 ساعة.

بعد ذلك، حُضّرت ثلاثة أفلام سميكة من مسحوق أكسيد الزنك النانوي باستخدام طريقة الطلاء الكيميائي، وترسيبها على ركائز زجاجية ضمن شروط محددة من الضغط ودرجة الحرارة. وقد بلغت أبعاد الحبيبات للأفلام المحضّرة حوالي 166.47 و34.7 و36.23 نانومتر، على التوالي.

دُرست خصائص التيار–الجهد (I–V) للأفلام المحضّرة باستخدام جهاز Keithley 237، وذلك في وجود الهواء وفي وجود 200 جزء بالمليون (ppm) من بخار الميثانول، وعند درجات حرارة مختلفة تراوحت بين 50 الى 350°C. كما حُسبت حساسية الأفلام تجاه بخار الميثانول بتركيز 200 ppm.

أظهرت النتائج تحسنًا في حساسية الأفلام الثلاثة مع ارتفاع درجة الحرارة حتى الوصول إلى درجة حرارة محددة، ثم بدأت الحساسية بالانخفاض عند درجات الحرارة الأعلى. كما أظهر الفلم ذو حجم الحبيبات 34.7 نانومتر أعلى حساسية بين الأفلام الثلاثة عند درجة حرارة تشغيل بلغت 250°C، إضافةً إلى امتلاكه قدرة أكبر على امتصاص بخار الميثانول.

وقورنت حساسية الأفلام المحضّرة عند تركيز 200 ppm من بخار الميثانول بحساسيتها عند تركيز 100 ppm، كما ورد في الدراسة السابقة. وأظهرت المقارنة تحسنًا واضحًا في حساسية الفلم ذي حجم الحبيبات 34.7 نانومتر عند زيادة تركيز بخار الميثانول من 100 إلى 200 ppm، إلى جانب انخفاض درجة حرارة التشغيل من 300°C إلى 250°C مع زيادة تركيز بخار الميثانول.

الكلمات المفتاحية: أكسيد الزنك النانوي (ZnO)، بخار الميثانول، الحساسية ، التركيز، درجة حرارة التشغيل.

[1] مشرف على الأعمال، قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة حمص

The Effect of Increasing Methanol Vapor Concentration on the Sensing Properties of Zinc Oxide Nanopowder Thick Films

MAYADA HBOUS[2]

Abstract

Zinc oxide nanopowder was prepared by grinding in a high-energy ball mill for varying durations (from 1 to 18 hours). Three thick films of zinc oxide nanopowder were then prepared using chemical coating as the substrate on glass substrates under specific pressure and temperature conditions. The particle sizes were approximately 166.47, 34.7, and 36.23 nm. The current-voltage (I-V) characteristics of the prepared films were investigated using a Keithley 237 spectrometer in the presence of air and 200 ppm methanol vapor at different temperatures (from 50°C to 350°C). The sensitivity of the films in the presence of 200 ppm was calculated, and an improvement in the sensitivity of all three films was observed with increasing temperature up to a certain point. The 34.7 nm film exhibited the highest sensitivity among the three films at 250°C and demonstrated the greatest methanol vapor absorption capacity. The sensitivity of the films prepared in the presence of 200ppm of methanol vapor was compared with the sensitivity of the same films in the presence of 100ppm of methanol vapor (previous study). A clear improvement in the sensitivity of the 34.7nm film was observed with increasing methanol vapor concentration, in

[2] **Supervisor, Department of Physics, Faculty of Science, University Homs**

addition to a decrease in operating temperature from 300°C to 250°C with increasing methanol vapor concentration.

Key words: Keywords: Zinc oxide nanoparticles (ZnO), methanol vapor, sensitivity, concentration, operating temperature.

1. المقدمة:

1.1. الحساسات النانوية للحالة الصلبة وتقنية النانو:

تدرس تقنية النانو الجزيئات والمركبات التي لا يتجاوز حجم حبيباتها ١٠٠ نانومتر، وتتميز بدقة عالية في إنتاج هذه المواد وفي تفاعلاتها الداخلية لتوجيه هذه الجزيئات نحو الحصول على المادة المطلوبة.

تحظى تقنية النانو بأهمية بالغة باعتبارها من أنظف التقنيات المستخدمة في الإنتاج، مما يساهم في تقليل النفايات الصناعية والتلوث، ورفع كفاءة الصناعات الإلكترونية ومعالجة المياه والبيئية [1,2].

تعتبر أجهزة استشعار الغاز من أفضل مخرجات تكنولوجيا النانو، وخاصة تلك المصنوعة من أكسيد المعادن [3،4]، وذلك لتمتعها بالحساسية العالية، والمرونة الكيميائية الجيدة، والتكلفة المنخفضة، والحجم الصغير، وانخفاض استهلاك الطاقة، وانخفاض حد الكشف (بضع أجزاء في المليون)، والاستقرار، بالإضافة إلى إمكانية تصنيعها للكشف عن أكثر من غاز واحد في نفس الوقت [5]، لذلك، نجد أنه من المهم دراسة أجهزة الاستشعار وخصائصها الحساسة للأبخرة العضوية، وهو أمر بالغ الأهمية في العديد من المجالات الصناعية [6].

1.2. تعريف الحساسات الغازية:

هي أجهزة استشعار تستخدم للكشف عن وجود غاز معين أو قياس تركيزه في الوسط المحيط، وذلك من خلال تحويل التفاعل بين الغاز ومادة الحساس إلى إشارة كهربائية يمكن قياسها وتحليلها. وتعد الحساسات الغازية من الأدوات المهمة في المجالات الصناعية والبيئية والطبية لأنها تساعد على رصد الغازات والابخرة بدقة وتحسين السلامة وجودة المراقبة.

1.3. مبدأ عمل أجهزة الاستشعار:

يعتمد مبدأ عمل أجهزة الاستشعار الغازية المعتمدة على أكاسيد المعادن شبه الناقلة على تغير خواصها الكهربائية، ولا سيما مقاومتها الكهربائية، عند تعرض سطح المادة الحساسة لجزيئات الغاز المستهدف [7،8]. وتعتمد عملية التحسس بصورة أساسية على امتزاز جزيئات الغاز وتفاعلها فيزيائيًا أو كيميائيًا على سطح مادة الاستشعار، مما يؤدي إلى تغير في تركيز حوامل الشحنة، وبالتالي حدوث تغير في الخواص الكهربائية للمادة. ويمكن رصد هذا التغير من خلال قياس الإشارة الكهربائية الناتجة، مثل التغير في المقاومة أو الناقلية الكهربائية.

1.4. بارامترات أداء الحساس:

(a) الحساسية (Sensitivity): هي النسبة بين مقاومة مادة الحساس بوجود الهواء وبين مقاومة مادة الحساس بوجود الغاز أي Rair/Rgas في حالات الغازات الملوثة المرجعة أو النسبة بين مقاومة مادة الحساس بوجود الغاز و مقاومة مادة الحساس بوجود الهواء في حالات الغازات الملوثة المؤكسدة، مع العلم أن كلاً من Rair و Rgas لها علاقة كبيرة مع التفاعلات التي تحدث على السطح وهي نسبة مميزة لكل حساس وبالتالي كلما ازداد التغير في إشارة الخرج من أجل تغير معلوم للدخل يكون الحساس أكثر حساسية.

(b) زمن الاستجابة (Time Response): هو الزمن اللازم حتى يستجيب الحساس أي يحدث تغير في إشارة الخرج من أجل مجال محدد لإشارات الدخل وهو زمن مميز لكل حساس.

(c) زمن الاسترجاع (Time Recovery): هو الزمن اللازم حتى ينعدم التغير في إشارة الخرج في غياب الغاز.

(d) حد الكشف الأدنى (Low limit of Detection): هو أقل مستوى من الدخل يمكن أن نحصل من خلاله على تغير في إشارات الخرج.

(e) حرارة التشغيل (Temperature Operating): هي درجة الحرارة التي نحصل عندها على أكبر تغير في إشارة الخرج.

(f) عمر الحساس (Sensor Lifespan): هو أطول فترة زمنية يحافظ فيها الحساس على استقراره وحسن أداء عمله (يحافظ فيها على الحساسية، زمن الاستجابة وغيرها من البارامترات) [9].

2. هدف البحث:

يهدف هذا البحث إلى تحضير أفلام سميكة من مسحوق ZnO النانوي باستخدام طريقة الطلاء الكيميائي، ودراسة خصائص التيار–الجهد (I–V) في الهواء وفي بخار الميثانول بتركيز 200ppm ، ثم مقارنة

حساسية هذه الأفلام مع حساسية نفس الأفلام بوجود 100ppm من بخار الميثانول التي تمت دراستها سابقًا [14].

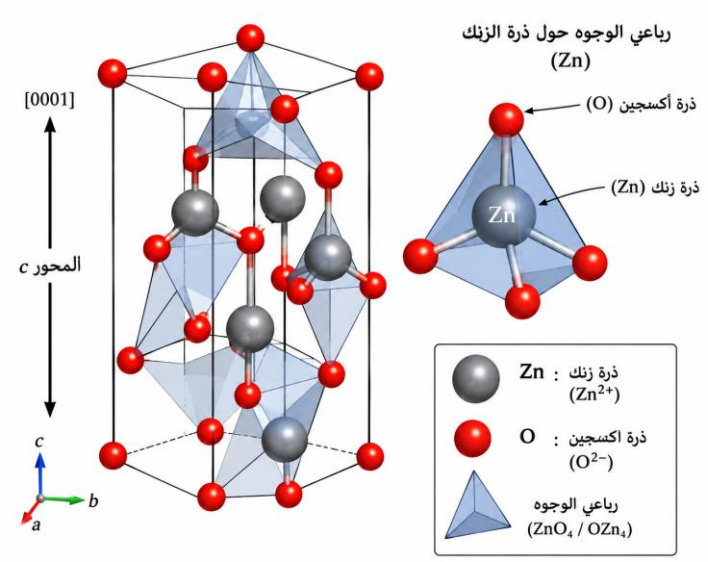
3. المواد والأجهزة المستخدمة وطرائق البحث:

3.1. المواد المستخدمة:

أكسيد الزنك (ZnO) [10]:

وهو مركب غير عضوي يظهر عادةً على شكل مسحوق أبيض، وقد يميل لونه إلى الاصفرار عند التسخين، ثم يعود إلى لونه الأصلي عند التبريد. ويُعد أكسيد الزنك من الأكاسيد ذات الخواص المذبذبة، إذ يمكنه التفاعل مع الأحماض مكوّنًا أملاح الزنك، كما يتفاعل في الأوساط القلوية مكوّنًا أنواع الزنكات في المحلول.

الشكل 1: البنية البلورية لأكسيد الزنك.



-الميثانول CH3OH [11، 12]:

وهو مركب هيدروكربوني ينتمي إلى مجموعة الكحولات، قابل للامتزاج بالماء. يُعتبر الميثانول ملوثًا بيئيًا؛ إذ يتحلل بسهولة في الماء والتربة بسرعة وبتركيزات عالية، وعندما يُترك ليتبخر في الهواء، يتفاعل معه مُكَوِّنًا الفورم ألدهيد وحمض الفورميك، اللذين يُساهمان أيضًا في تلوث الهواء ويُسببان ضررًا للكائنات الحية، وخاصةً الإنسان، لأنه يُتلف العديد من خلايا الجسم، ولا سيما شبكية العين.

3.2. الأجهزة المستخدمة:

-جهاز طحن بالكرات عالية الطاقة HEBM:



الشكل (2): إحدى نماذج مطاحن الكرات عالية الطاقة (HEBM) المطحنة الكواكبية متغيرة السرعة.

-جهاز القياسات الكهربائية (قياس الخصائص التيار-الجهد (I-V)):



الشكل (3): صورة عامة لجهاز قياس الخصائص التيار-الجهد (I-V) .

الجدول (1): بارامترات جهاز KEITHLEY 237 المطبقة عند دراسة المميزات تيار-جهد.

Start Value (V) =	−100
Stop Value (V) =	+100
Steps Count =	20
Current Limit (A) =	0.1
Time Interval (ms) =	500
Bias (v) =	0

3.3. تحضير مساحيق أكسيد الزنك النانوية:

في هذه الدراسة، حُضِّرت مساحيق أكسيد الزنك النانوية (ZnO) بالطحن الميكانيكي والتنشيط الميكانيكي للمادة الصلبة وذلك باستخدام مطحنة الكرات عالية الطاقة (Activator 2S، روسيا) ويؤدي الطحن عالي الطاقة إلى تكرار عمليات التصادم والاحتكاك بين كرات الطحن والمسحوق، مما قد يسبب تكسير الجسيمات وتقليل حجمها، إلى جانب حدوث تشوهات بلورية وزيادة في العيوب البلورية، وبالتالي حدوث تغير في الحجم البلوري وحجم الجسيمات مع زيادة زمن الطحن.

وطُحنت مساحيق أكسيد الزنك لمدة تراوحت بين 1 و18 ساعة، وبفواصل زمنية مقدارها 3 ساعات بين عمليات الطحن، وذلك بهدف دراسة تأثير زمن الطحن في الخصائص البنيوية والحجمية للمسحوق [13].

الجدول (2): شروط عمل مطحنة الكرات عالية الطاقة.

سرعة القرص [rpm]	سرعة الحجرة [rpm]	أقطار كرات الطحن [mm]	حجم الحجرة [ml]	نسبة وزن الكرات إلى المسحوق	نوع مادة الحجرة والكرات	المادة الأولية
640	320	10	80	1:20	كربيد التنغستين	ZnO

3.4. تحضير الأفلام السميكة من مسحوق أكسيد الزنك النانوي:

تم تحضير هذه الأفلام باستخدام طريقة الطلاء الكيميائي، والتي مراحلها على النحو التالي:

أولاً- تنظيف الركائز الزجاجية:

قبل تحضير الأفلام من مساحيق الأكاسيد المعدنية المستخدمة يجب تحضير الركائز وتنظيفها. تُقسّم إجراءات التنظيف إلى: تنظيف حامضي، تنظيف قلوي، والتنظيف الجاف.

حيث يتضمن كل من التنظيف الحمضي والقلوي تنظيفاً سائلاً مع ملاحظة إن إزالة الجزيئات الملوثة قد تقوم في نفس الوقت بتنشيط سطحي، أما التنظيف الجاف فله تأثير كبير في إزالة الملوث دون تنشيط للسطوح.

تم تنظيف الشرائح الزجاجية المستخدمة في هذه الدراسة على النحو التالي:

a) وضع الشرائح الزجاجية في جهاز الأمواج فوق الصوتية في محلول منظف عادي.
b) وضع الشرائح الزجاجية في محلول 1M HCL لمدة 15 دقيقة.
c) نقل الشرائح إلى حوض فيه ماء نقي للشطف وإزالة آثار الحمض المتعلقة به لمدة 20 دقيقة.
d) تجفيف الشرائح الزجاجية بوساطة ورق تنشيف خاص بغية عدم ترك أي آثار للغبار على الشريحة [14].

ثانياً- تثبيت الأقطاب الكهربائية:

بعد الانتهاء من تنظيف الركائز نقوم بتثبيت الأقطاب الكهربائية المخصصة لإجراء القياسات الكهربائية ويتم ذلك بخلط معجون الفضة مع اللاصق المرفق به ووضعه على الركيزة بعد ذلك نضع القطب

الكهربائي فوقه (وهو سـلك رفيع من معدن الفضــة والنحاس) ونحاول تثبيته يدوياً، بعد الانتهاء من تثبيته نضـع الركائز المثبت عليها الأقطاب على سـخان بدرجة حرارة 25°C لمدة سـاعتين، بعد ذلك نتركهم في الهواء الجوي لمدة يومين حتى تتثبت الأقطاب بشكل جيد على الركائز [14].

ثالثاً- الطلاء الكيميائي:

بعد تثبيت الأقطاب على الركائز نقوم بتنظيفها بالإيثانول ثم بالماء المقطر ثم نجففها بورق تنشيف خاص بعد ذلك تم مزج مساحيق الأكاسيد المعدنية (غير المطحونة والمطحونة) بالماء المقطر لتشكيل عجينة منها ثم نقوم بعد ذلك بطليها على الركائز المسخنة من 20°C وحتى 30°C ثم نتركها في الهواء الجوي لليوم الثاني حتى تجف ومن ثم يتم استخدامها في الدارات الكهربائية الموجودة ضمن الحجرة الغازية الشكل (3) [14].

4. نتائج البحث ومناقشتها:

4.1. دراسة الخصائص التحسسية للأفلام المُحضّرة:

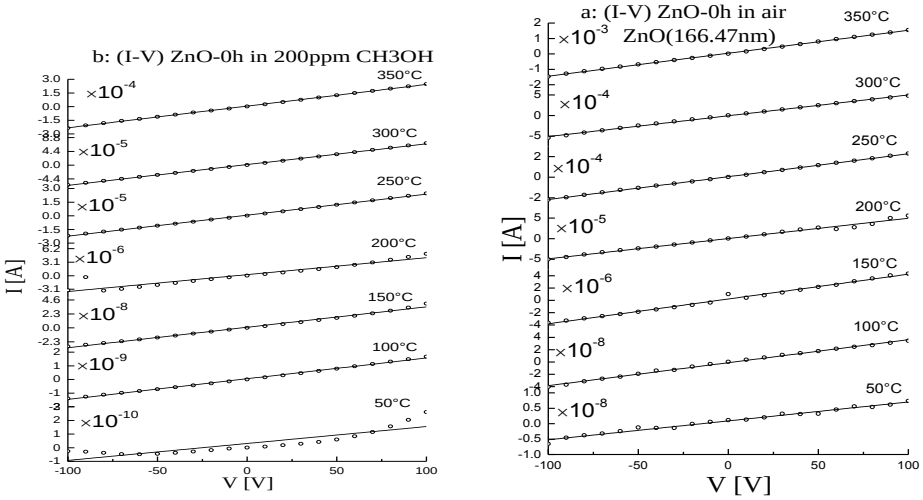
أُجريت القياسات الكهربائية داخل حجرة ذات ضغط متحكَّم به، مصنَّعة محليًا (F3–L16–Chal–GS)، تتيح التحكم في نوع الغاز المُدخل إليها وكميته. كما رُبطت المزدوجة الحرارية، المستخدمة في تسخين حوامل الأفلام، بهذه الحوامل بهدف التحكم في درجة الحرارة ومراقبتها خلال عمليات القياس.

قِيست مقاومة الأفلام باستخدام طريقة المسبارين، وتم التحقق من أومية التلامس الكهربائي من خلال إجراء قياسات التيار–الجهد (I–V). كما جرت مراقبة التغيرات في المقاومة الكهربائية للأفلام المحضَّرة في الهواء الجوي، حيث رُمز إلى المقاومة المقاسة في الهواء بالرمز Rair، وكذلك في وجود تركيز محدد من الغاز المدروس مع الهواء، حيث رُمز إلى المقاومة المقاسة في وجود الغاز بالرمز Rgas. وخُزِّنت جميع البيانات المقاسة باستخدام جهاز حاسوب.

أُخضعت جميع الأفلام المحضَّرة من مسحوق أكسيد الزنك لظروف ومعاملات القياس الكهربائي نفسها باستخدام جهاز Keithley 237، وذلك في وجود بخار الميثانول. وقد استُخدمت هذه الطريقة سابقًا من قِبل باحثين آخرين لدراسة تحسس العديد من المواد ذات البنى النانوية للرطوبة والغازات وأبخرة المواد العضوية [15،16].

دُرست الخصائص التيار–الجهد (I–V) لكل فيلم مُحضَّر في الهواء وفي وجود تركيز قدره 200 ppm من بخار الميثانول، وذلك عند درجات حرارة مختلفة تراوحت بين 50 و350 °م.

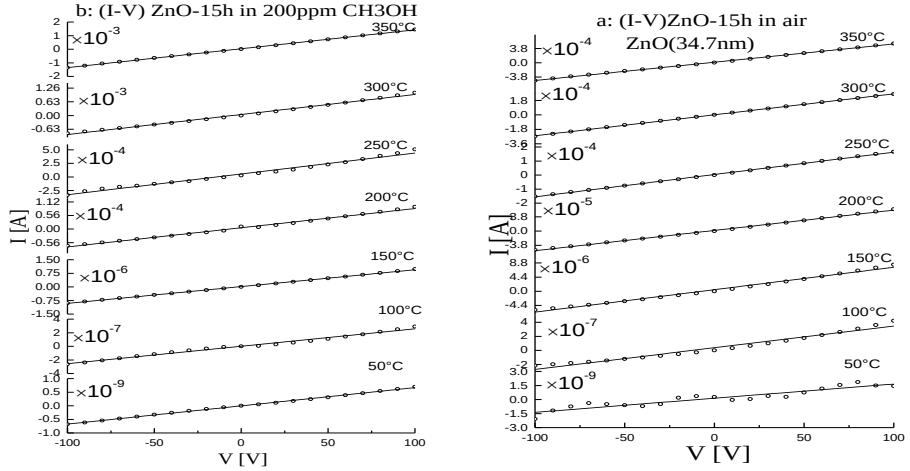
4.2. الخصائص التحسسية لفلم من ZnO ذو البعد الحبيبي 166.47 نانومتر (قبل الطحن):



الشكل 4. تغير الخصائص التيار–الجهد لفلم من ZnO (166.47 نانومتر)

أ: في الهواء، ب: بوجود 200ppm من بخار الميثانول

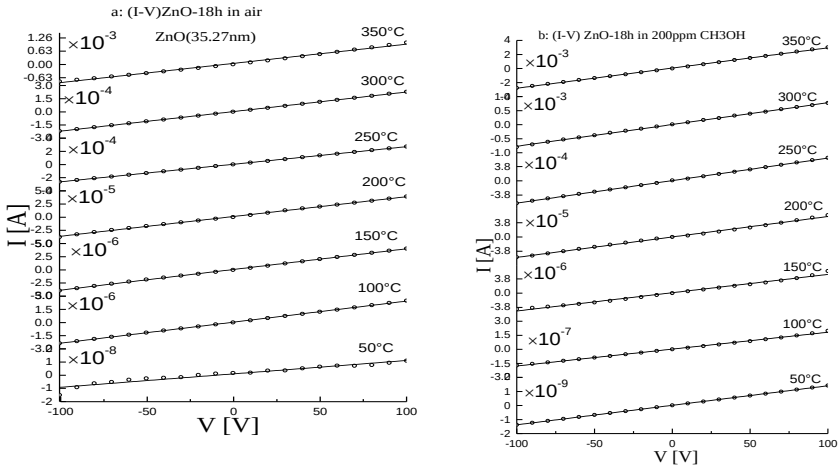
4.3. الخصائص التحسسية لفلم من ZnO ذو البعد الحبيبي 34.7 نانومتر بعد 15 ساعة من الطحن:



الشكل 5. تغير الخصائص التيار–الجهد لفلم من ZnO (34.7 نانومتر)

أ: في الهواء، ب: بوجود 200ppm من بخار الميثانول.

4.4. الخصائص التحسسية لفلم من ZnO ذو البعد الحبيبي 36.23 نانومتر بعد 18 ساعة من الطحن:



الشكل 6 تغير الخصائص التيار–الجهد لفلم من ZnO (36.23 نانومتر)
أ: في الهواء، ب: بوجود 200ppm من بخار الميثانول.

نلاحظ من الأشكال السابقة أن مقاومة جميع الأفلام تتأثر بتغير درجات الحرارة المطبقة أثناء القياسات، ولها مقاومة أومية، حيث تؤدي زيادة درجة الحرارة إلى زيادة التيار من ميكرو أمبير عند 50 درجة مئوية إلى بضعة أجزاء من الميلي أمبير عند 350 درجة مئوية، ومن هذه الأشكال يمكننا حساب المقاومة في الهواء وفي 200ppm من بخار الميثانول في الجداول (5، 4، 3)على النحو التالي:

الجدول 3: قيم المقاومة للفلم (166.47nm) ZnO في الهواء وفي 200ppm من بخار الميثانول

T[°C]	50	100	150	200	250	300	350
Rair[Ω]	1.60E+10	2.68E+09	2.47E+07	2.00E+06	4.49E+05	1.97E+05	6.72E+04
Rgas[Ω]	1.03E+12	5.65E+10	3.88E+08	1.76E+07	2.86E+06	1.23E+06	5.76E+05

الجدول 4: قيم المقاومة للفلم ((34.7 nm) ZnO في الهواء وفي 200pp من بخار الميثانول

T[°C]	50	100	150	200	250	300	350
Rair[Ω]	5.83E+10	3.15E+08	1.42E+07	1.84E+06	6.28E+05	3.83E+05	2.05E+05
Rgas[Ω]	3.98E+11	6.99E+08	1.25E+07	1.02E+06	2.50E+05	1.59E+05	1.06E+05

الجدول 5: قيم المقاومة للفلم (36.23nm) ZnO في الهواء وفي 200ppm من بخار الميثانول

T[°C]	50	100	150	200	250	300	350
Rair[Ω]	9.21E+09	4.16E+07	2.52E+07	2.66E+06	3.74E+05	4.47E+05	1.09E+05
Rgas[Ω]	4.69E+10	8.99E+07	2.47E+07	1.61E+06	1.59E+05	1.99E+05	5.93E+04

4.5. حساب حساسية أفلام أكسيد الزنك السميكة لبخار الميثانول:

حُسبت حساسية أفلام أكسيد الزنك السميكة لبخار الميثانول باستخدام المعادلة التالية:

$$S = \frac{Rair}{Rgas} \times 100 \quad [19,18]$$

حيث: Rair: مقاومة الفلم في الهواء (Ω)

Rgas: مقاومة الفلم في 200 جزء في المليون من بخار الميثانول (Ω)

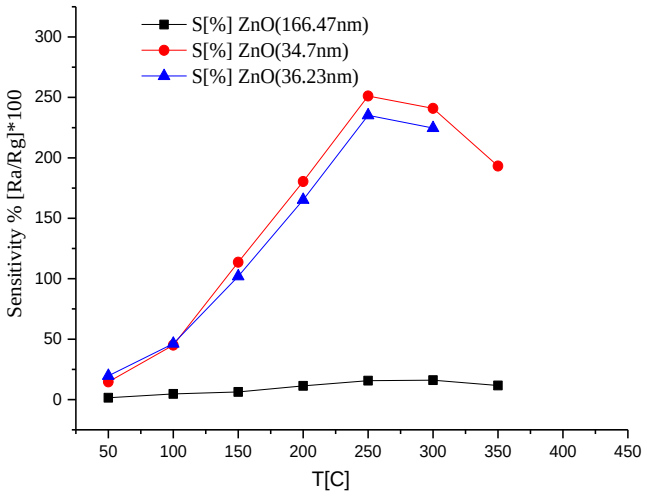
S: الحساسية (%).

لذلك، فإن القيم التي تزيد عن 100% أو تقل عنها لا تمثل خطأً في الحساب، وإنما تعكس اتجاه تغير مقاومة الفلم عند تعرضه لبخار الميثانول مقارنةً بمقاومته في الهواء.

الجدول (6): قيم الحساسية لأفلام أكسيد الزنك النانوية بوجود بخار 200ppm من بخار الميثانول مع تغيرات T.

T[°C]	S[%]ZnO(166.47nm)	S[%]ZnO(34.7nm)	S[%]ZnO(36.23nm)
50	1.56	14.65	19.64
100	4.74	45.06	46.27
150	6.37	113.60	102.02
200	11.36	180.39	165.22
250	15.70	251.20	235.22
300	16.08	240.88	224.62
350	11.67	193.21	183.81

تم رسم الحساسية كتابع لدرجة الحرارة للأفلام لثلاثة ذات البعد الحبيبي (166.47، 34.7، 36.23 نانومتر) على النحو التالي الشكل (7).



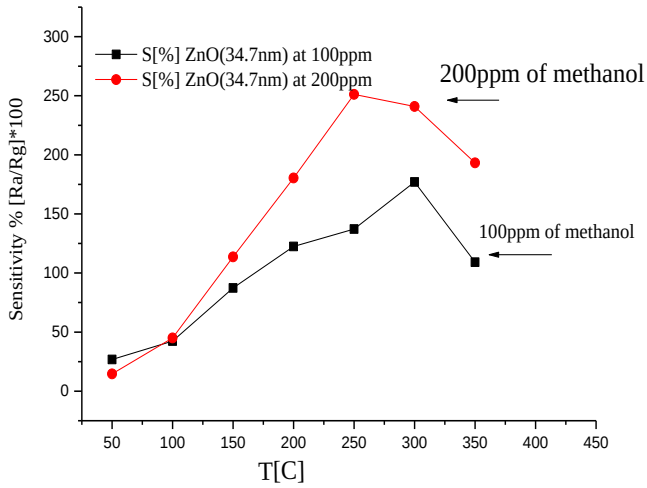
الشكل 7. تغير الحساسية كتابع لدرجة الحرارة للأفلام أكسيد الزنك ذات البعد الحبيبي (166.47، 34.7، 36.23 نانومتر) بوجود 200ppm من بخار الميثانول

نلاحظ من الشكل (7) أن الفلم ذو الحجم الحبيبي الأصغر هو الذي يملك أعلا حساسية كما نلاحظ تحسنًا في حساسية الأفلام الثلاثة مع ارتفاع درجة الحرارة حتى الوصول إلى درجة حرارة معينة، ويُعزى ذلك إلى زيادة نشاط السطح وتسهّل التفاعلات بين سطح الفلم وجزيئات الأكسجين والميثانول، إضافةً إلى زيادة العيوب الذاتية السطحية، ومنها الفجوات الأكسجينية، التي يمكن أن تسهم في توفير مواقع نشطة لامتزاز جزيئات الغاز والتفاعل معها. وتستمر الحساسية بالارتفاع مع زيادة درجة الحرارة حتى الوصول إلى درجة حرارة مثلى، تُعرف بدرجة حرارة التشغيل، والتي تكون عندها الحساسية أعلى ما يمكن.

بعد تجاوز درجة حرارة التشغيل، تنخفض الحساسية مع زيادة درجة الحرارة، وذلك لأن ارتفاع درجة الحرارة لا يؤدي بالضرورة إلى زيادة مستمرة في عدد المواقع النشطة أو الفجوات الأكسجينية الفعالة، بل قد يؤدي إلى زيادة سرعة امتزاز الأنواع السطحية وإزالة أو انفصال بعض الأنواع الممتزة عن السطح، وانخفاض زمن بقائها عليه، مما يقلل من التفاعل الفعال بين سطح الفلم وجزيئات بخار الميثانول، وبالتالي يؤدي إلى انخفاض الحساسية. ويتوافق هذا السلوك مع ما ورد في بعض الأبحاث العلمية [17,20]. كما نلاحظ أن الفلم ذي الحجم الحبيبي (34.7 نانومتر) أظهر أعلى حساسية تجاه بخار الميثانول بين الأفلام الثلاثة المدروسة، مما يشير إلى أن البنية النانوية وخصائص السطح يمكن أن يكون لها دور مهم في تحسين الاستجابة للغاز، نتيجة زيادة عدد المواقع السطحية الفعالة، وذلك بما يتوافق مع ما ورد في الأبحاث العلمية [19].

4.6. مقارنة الخصائص التحسسية للفيلم السميك من أكسيد الزنك ذي الحجم الحبيبي 34.7 نانومتر بوجود 100 ppm و200 ppm من بخار الميثانول:

في دراسة سابقة [14]، قمنا بدراسة الخصائص التحسسية لأفلام سميكة محضرة من مساحيق أكسيد الزنك النانوية تجاه بخار الميثانول بتركيز 100 ppm، وتبين أن الفلم السميك من أكسيد الزنك ذي الحجم الحبيبي 34.7 نانومتر أظهر أعلى حساسية تجاه بخار الميثانول بتركيز 100 ppm. لذلك، قمنا في هذه الدراسة بمقارنة حساسية الفلم ذي الحجم الحبيبي 34.7 نانومتر تجاه بخار الميثانول بتركيزي 100 ppm و200 ppm، وذلك بهدف دراسة تأثير زيادة تركيز بخار الميثانول في حساسية الفلم. وقد تم تمثيل النتائج في الشكل التالي:



الشكل 8: مقارنة حساسية ZnO (34.7 نانومتر) بوجود 100ppmو 200ppm من بخار CH3OH كدالة لـ (T).

نلاحظ من الشكل السابق أن حساسية الفلم تزداد بزيادة تركيز بخار الميثانول، كما تنخفض درجة حرارة التشغيل مع زيادة التركيز. ويمكن تفسير ذلك بأن زيادة تركيز بخار الميثانول تؤدي إلى زيادة عدد جزيئات الميثانول التي تصل إلى سطح الفلم، وبالتالي تزداد احتمالية وصولها إلى المواقع السطحية الفعالة وحدوث التفاعل مع الأنواع الممتزة على سطح أكسيد الزنك. لذلك يمكن الوصول إلى استجابة حساسة عند درجة حرارة أقل عند استخدام تركيز أعلى من بخار الميثانول.

وتجدر الإشارة إلى أن زيادة تركيز الغاز لا تعني زيادة المساحة السطحية الفيزيائية للفيلم، وإنما تؤدي إلى زيادة إشغال المواقع السطحية الفعالة بجزيئات الغاز. ومع زيادة التركيز، يزداد إشغال هذه المواقع تدريجيًا حتى الوصول إلى حالة قريبة من التشبع، وعندها تصبح الزيادة الإضافية في عدد جزيئات الغاز غير مصحوبة بزيادة كبيرة في عدد المواقع الفعالة المتاحة للتفاعل، وبالتالي تصبح الزيادة في الحساسية محدودة. وعند تجاوز تركيز معين، قد يؤدي ارتفاع تغطية السطح بجزيئات الميثانول إلى الحد من التفاعل الفعال بين جزيئات الغاز والمواقع السطحية، كما قد تبقى بعض الجزيئات الزائدة غير متفاعلة، مما يفسر انخفاض معدل زيادة الحساسية عند التراكيز المرتفعة، بما يتوافق مع ما ورد في الدراسات السابقة [21].

5. الخلاصة:

تم تحضير ثلاثة أفلام سميكة من مسحوق أكسيد الزنك النانوي (ZnO) باستخدام طريقة الطلاء الكيميائي، دُرست المميزات التيار–الجهد لهذه الأفلام الثلاثة وحُسبت حساسية هذه الأفلام اتجاه 200ppm من بخار الميثانول، حيث أظهرت الدراسة أن أفلام أكسيد الزنك النانوية التي تملك البعد الحبيبي 34.7 نانومتر تملك أعلى كفاءة وقدرة على امتصاص بخار الميثانول، وبمقارنة حساسية الفلم من أكسيد الزنك النانوي ذو البعد الحبيبي 34.7 نانوي متر بوجود 100ppm من بخار الميثانول مع حساسية نفس الفلم بوجود 200ppm من بخار الميثانول تبين أن حساسية الفلم قد ازدادت مع زيادة التركيز كما انخفضت درجة حرارة تشغيل فلم أكسيد الزنك (34.7 نانومتر) إلى 250 درجة مئوية مع زيادة تركيز الميثانول.

6. مقترحات البحث:

1. إجراء دراسات لاحقة على حساسات من أكسيد الزنك النانوي اتجاه غازات وأبخرة عضوية أخرى مع تغير التراكيز.
2. دراسة تأثير تركيز الغازات على زمن الاستجابة وزمن الاسترجاع لحساسات من أكسيد الزنك.
3. يُقترح مقارنة أكسيد الزنك بمواد نانوية أخرى.

٧. قائمة المصادر والمراجع والملاحق:

المراجع العربية:

[10] دكلر، هنري، وبيرقدار، هيام. (1971). الكيمياء اللاعضوية: الجزء الثاني لطلاب شهادة الكيمياء اللاعضوية. مطبعة محمد هاشم الكتبي.

[11] عبد الله، ع. هـ. (دون تاريخ). الكيمياء الفيزيائية. الجامعة الأمريكية في بيروت، دار الراتب الجامعية.

[1] الإسكندراني، محمد شريف. (2010). تكنولوجيا النانو: من أجل غدٍ أفضل. المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب.

[12] مؤسسة أعمال الموسوعة للنشر والتوزيع. (1999). الموسوعة العربية العالمية (الطبعة الثانية، 30 مجلدًا).

المراجع الأجنبية:

[2] **قائمة المصادر والمراجع والملاحق:** . Nagar, A., & Pradeep, T. (2020). Clean Water through Nanotechnology: Needs, Gaps, and Fulfillment. ACS Nano, 14(6), 6420–6435. https://doi.org/10.1021/acsnano.9b01730

[3] Kim, D.-G., Min, K. H., Chang, S.-Y., Oh, S.-T., Lee, B.-H., & Kim, Y.-D. (2005). Effect of pre-reduced Cu particles on hydrogen-reduction of W-oxide in WO_3–CuO powder mixtures. Materials Science and Engineering: A, 399(1–2), 326–331. https://doi.org/10.1016/j.msea.2005.04.010

[4] Wang, C.-N., Li, Y.-L., Gong, F.-L., Zhang, Y.-H., Fang, S.-M., & Zhang, H.-L. (2020). Advances in doped ZnO nanostructures for gas sensor. The Chemical Record, 20(12), 1553–1567. DOI: 10.1002/tcr.202000088

[5] Miller, T. A., Bakrania, S. D., Perez, C., & Wooldridge, M. S. (2006). Nanostructured tin dioxide materials for gas sensor applications. In K. E. Geckeler & E. Rosenberg (Eds.), Functional nanomaterials (pp. 453–476). American Scientific Publishers.

[6] Saloum, S., & Alkhaled, B. (2010). Growth rate and sensing properties of plasma deposited silicon organic thin films from hexamethyldisilazane compound. Acta Physica Polonica A, 117(3), 484–489. https://doi.org/10.12693/APhysPolA.117.484

[7] Wang, C., Yin, L., Zhang, L., Xiang, D., & Gao, R. (2010). Metal oxide gas sensors: Sensitivity and influencing factors. Sensors, 10(3), 2088–2106. https://doi.org/10.3390/s100302088

[8] Lee, G.-H., & Kang, S. (2006). Sintering of nano-sized WC–Co powders produced by a gas reduction–carburization process. Journal of Alloys and Compounds, 419(1–2), 281–289. https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2005.09.060

[9] Huang, J., & Wan, Q. (2009). Gas sensors based on semiconducting metal oxide one-dimensional nanostructures. Sensors, 9(12), 9903–9924. https://doi.org/10.3390/s91209903

[13] SHERIF M, 2001- **Mechanical Alloying For Fabrication Of Advanced Engineering Materials,** Noyes publications william andrew publishing Norwich, New York, U.S.A, pp254.

[14] Hbous, M.(2015).preparing films from nano metals oxids powders and studing their properties as sensors for gases which pollute environment.doctoral dissertation, Homs university.

[15] Strandwitz, N., Fornash, S., & Li, H. (2003). Nano-scale gas/vapor sensor. NNUN REU Program at Pennsylvania State Nanofabrication Facility, USA, 68–69.

[16] Khoshnevis, S., Dariani, R. S., Azim-Araghi, M. E., Bayindir, Z., & Robbie, K. (2006). Observation of oxygen gas effect on porous silicon-based sensors. Thin Solid Films, 515(4), 2650–2654. https://doi.org/10.1016/j.tsf.2006.05.044

[17] Chen, D., Hou, X., Wen, H., Wang, Y., Wang, H., Li, X., Zhang, R., Lu, H., Xu, H., Guan, S., Sun, J., & Gao, L. (2010). The enhanced alcohol-sensing response of ultrathin WO_3 nanoplates. Nanotechnology, 21(3), 035501.

[18] Wang, K. Kalyanasundaram, M. Stanacevic, and P. Gouma; 2010- **Nanosensor Device for Breath Acetone Detection L,** SENSOR LETTERS. Vol.8. pp1-4.

[19] **Xu, F., Zhou, C., & Ho, H.-P. (2021). A rule for operation temperature selection of a conductometric VOC gas sensor based on ZnO nanotetrapods. Journal of Alloys and Compounds, 858, 158294. https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2020**

[20] S K GUPTA, ADITEE JOSHI and MANMEET KAUR.;. Development of gas sensors using ZnO nanostructures, J. Chem. Sci., Vol. 122, No. 1, (2010) 57–62.

[21] Dixit, S., Misra, K. P., Srivastava, A., Srivastava, A., & Shukla, R. K. (2007). An Optoelectronic Sensor Configuration Using ZnO Thick Film for Detection of Methanol. Sensors & Transducers Journal, 82(8), 1443–1449