مجلة الدراسات التربوية والعلمية - كلية التربية - الجامعة العراقية
العدد الثاني والعشرون - المجلد الثاني - علوم الفيزياء - أيلول 2023 م
doi.org/10.52866/esj.2023.02.22.08

متحسسات الغاز في درجة حرارة الغرفة لـ PVA الممزوجة مع الكوبالت

نبأ حميد الاحبابي ، نديم خالد حسن
جامعة تكريت، كلية التربية للعلوم الصرفة، قسم الفيزياء، تكريت، العراق.

مستخلص:

تم تطوير متحسسات الغاز التي تعمل في درجة حرارة الغرفة باستخدام مركب مختلط يتكون من كحول عديد الفاينيل (PVA) ممزوجًا بجسيمات نانوية من الكوبالت (Co) . تم تصنيع أغشية المزيج من خلال تقنية الغزل الكهربائي، مما يتيح دمج الجسيمات النانوية في متراكبة PVA . وكان الهدف هو تقييم قدرات متحسس الغاز لأغشية خليط PVA NFs /Co NPS لتطبيقات والكشف عن غازات درجة حرارة الغرفة. حيث أكد التحليل الإنشائي باستخدام حيود الأشعة السينية وجود جزيئات نانوية في مزيج الأغشية. أجريت تجارب متحسس الغازات مع مختلف الغازات المستهدفة، بما في ذلك المركبات العضوية المتطايرة (VOCs) والغازات الخطرة، لتقييم حساسية أجهزة الاستشعار وانتقائيته وزمن الاستجابة. أظهرت النتائج خصائص واعدة لمتحسس الغاز لأغشية خليط PVA NFs Co NPS، مما يدل على الحساسية والانتقائية المعززة تجاه غازات معينة. أدى دمج جزيئات الكوبلت النانوية في متراكبات PVA إلى تحسين امتصاص الغاز وتسهيل عملية متحسس الغاز.

الكلمات المفتاحية: متحسسات الغاز، درجة حرارة الغرفة، PVA بولي فينيل الكحول، الكوبلت، الغزل الكهربائي.

المقدمة

أجهزة استشعار الغاز هي أجهزة أساسية تستخدم لاكتشاف وقياس وجود غازات معينة في البيئة. وتلعب دورًا مهمًا في مختلف الصناعات والتطبيقات، بما في ذلك المراقبة البيئية والسلامة الصناعية والتشخيص الطبي ومراقبة جودة الهواء الداخلي. توفر مستشعرات الغاز بيانات في الوقت الفعلي عن تركيز الغاز، مما يتيح اتخاذ تدابير استباقية لضمان السلامة أو التحكم في الانبعاثات أو مراقبة جودة الهواء.

اجتذب كحول البولي فينيل (PVA) اهتمامًا كبيرًا في مجال استشعار الغاز نظرًا لخصائصه الممتازة لتشكيل الغشاء، والاستقرار الكيميائي، وسهولة التشغيل. أظهر دمج الجسيمات النانوية المعدنية في مصفوفات PVA إمكانات كبيرة في تحسين خصائص الاستشعار لهذه المواد. من بين الجسيمات النانوية المعدنية المختلفة، يبرز الكوبالت (Co) كمرشح مناسب بسبب الموصلية الكهربائية العالية وسمات استشعار الغاز الرائعة [1].

توفر طريقة الغزل الكهربائي مزايا فريدة لتصنيع مستشعرات الغاز على أساس مزيج PVA والنيكل. من خلال استخدام هذه التقنية، يمكن إنتاج ألياف نانوية ذات مساحة سطح عالية وتشكيل قابل للضبط، مما يؤدي إلى زيادة امتصاص الغاز وتحسين أداء الاستشعار. علاوة على ذلك، تتيح عملية الغزل الكهربائي التشتت المتجانس لجسيمات الكوبالت النانوية داخل متراكبات PVA، مما يضمن بنية نانوية محددة جيدًا وتفاعل غاز فعال [2].

في هذا البحث، تم تحضير ألياف الكوبالت النانوية عن طريق الغزل الكهربائي لمحلول البولي فينيل PVA NFs / Co NPS متبوعًا بالتكليس بدرجة حرارة عالية في الهواء وإزالة الأكسدة في الغلاف الجوي للهيدروجين. وتحويل فورييه الطيفي بالأشعة تحت الحمراء (FTIR)، والمجهر الإلكتروني لمسح الانبعاث الميداني (FE-SEM) والمجهر الإلكتروني لنقل الانبعاث الميداني (FE-TEM)). تم قياس حلقات التخلف المغناطيسي (حلقاتH - M) بواسطة نظام قياس الخصائص الفيزيائية (PPMS). تشير النتائج إلى أن: PVA والكوبالت قد تحللت بالكامل تقريبًا عند 460 درجة مئوية وكانت المنتجات عبارة عن ألياف نانوية نقية من النيكل مع تركيب مكعب الوجه. علاوة على ذلك، فإن ألياف الكوبالت النانوية المحضرة لها بنية مستمرة ذات سطح خشن ودرجة عالية من التبلور. كان متوسط قطر ألياف الكوبالت النانوية حوالي 100 نانومتر. [3].

يمكن استخدام العديد من الأدوات والتقنيات. فيما يلي بعض الأدوات الشائعة الاستخدام لتوصيف إعدادات استشعار الغاز، ومجهر المسح الإلكتروني، وحيود الأشعة السينية (XRD)، وتشتت الطاقة وتحويل فورييه للأشعة تحت الحمراء.

العمل التجريبي

1. تحضير المحاليل

لتحضير محاليل بولي فينيل (PVA) المدعمة بالكوبالت، يمكن اتباع الخطوات التالية:

1. نحضر بولي فينيل (PVA): من خلال وضع (30) غم من المحلول في الماء المقطر (30) مل في وعاء زجاجي يتم وضعة في درجة حراراة 50 درجة مئوية.

2. تم اضافت مادة الكوبلت الى المحلول

الغروي وأستمرت عملية المزج للحصول على أفضل تجانس ممكن.

3. تستمر عملية الخلط لبضع دقائق لضمان التوزيع المتجانس للكوبلت، ويمكن تخفيف المزيج بأضافة كمية قليلة من الماء للوصول الى التركيز المطلوب.

4. بعد اكمال عملية الخلط يتم تصفية المحلول باستخدام ورق الترشيح للتخلص من العوالق الغير مرغوب فيها.

5. يتم خزن المحلول المتجانس في مكان بارد وجاف لضمان استقراره.

الغزل الكهربائي

هو عملية تحويل المواد الخام إلى خيوط رقيقة باستخدام التقنيات الكهربائية. يتم استخدام الغزل الكهربائي في صناعة الألياف الاصطناعية مثل النايلون والبوليستر والأكريليك والبولي بروبيلين والألياف الزجاجية [4] .

يعتبر الغزل الكهربائي عملية فعالة وقابلة للتحكم لإنتاج الألياف الرقيقة التي تستخدم في مجموعة واسعة من التطبيقات مثل الأقمشة والملابس والمنسوجات التقنية والألياف البصرية والمواد العازلة والمواد الفلترة وغيرها. توفر هذه التقنية مرونة في تصميم الألياف وخصائصها مثل القوة والمرونة والمقاومة للحرارة والكيماويات. [5]

عملية الغزل الكهربائي تشمل عادة الخطوات التالية:

أ. تذويب المادة الخام: يتم تسخين المادة الخام إلى درجة حرارة محددة لتصبح سائلة.

ب. إضافة الطاقة الكهربائية: يتم تمرير التيار الكهربائي عبر المادة الخام المذابة باستخدام أجهزة تحكم خاصة.

ت. تشكيل الخيوط: يتم سحب الخيوط الرقيقة من المادة الخام المذابة باستخدام أدوات مثل الفتحات الدقيقة أو الفرش أو العجلات الدوارة[6].

ث. تبريد الخيوط: تمر الخيوط عبر نظام تبريد لتصل إلى درجة حرارة مناسبة للتجمد والتجمع.

2. المحاليل المستخدمة في التحضير

في سياق تحضير PVA الممزوج بالكوبالت لأجهزة استشعار الغاز، يتم استخدام حلول مختلفة في مراحل مختلفة من العملية. فيما يلي بعض الحلول التي يشيع استخدامها في التحضير:

محلول PVA: عادة ما يتم إذابة كحول البولي فينيل (PVA) في الماء لإنشاء محلول PVA. يمكن أن يختلف تركيز PVA في المحلول اعتمادًا على الخصائص المرغوبة للغشاء. يعمل محلول PVA كمتراكبة لدمج الجسيمات النانوية للكوبالت.

محلول مجموعة الكوبالت: لتجميع الجسيمات النانوية للكوبالت، يتم تحضير محلول مجموعة عن طريق إذابة أملاح أو مجموعة الكوبالت المناسبة في مذيب. يعتمد اختيار المجموعة والمذيب على طريقة التوليف المستخدمة. تشمل مجموعة الكوبالت الشائعة أسيتات الكوبالت أو نترات الكوبالت أو كلوريد الكوبالت.[7]

مذيب للخلط: عند دمج جزيئات الكوبالت النانوية في متراكبة PVA، غالبًا ما يتم استخدام مذيب لتسهيل عملية الخلط. يعد الماء خيارًا شائعًا لأنه متوافق مع كل من PVA والعديد من مجاميع الكوبالت. يمكن أيضًا استخدام مذيبات أخرى، مثل الكحول، اعتمادًا على المواد المحددة وطريقة التوليف.

محلول الشطف: كما ذكرنا سابقًا، يُستخدم

محلول الشطف لتنظيف أو شطف المستشعر أو مكوناته. يمكن أن يختلف اختيار محلول الشطف. يتم استخدام الماء منزوع الأيونات بشكل شائع كمحلول شطف، ولكن يمكن استخدام مذيبات أو عوامل تنظيف أخرى اعتمادًا على الملوثات المراد إزالتها.

من المهم ملاحظة أن التركيز والنسب والتركيبات المحددة للحلول قد تختلف اعتمادًا على الخصائص المرغوبة لمزيج PVA-cobalt وطريقة التوليف المستخدمة. بالإضافة إلى ذلك، يجب اتباع احتياطات السلامة، مثل التهوية المناسبة والتعامل مع المواد الكيميائية، عند العمل مع هذه الحلول لضمان بيئة معملية آمنة[8] .

3. النتائج والمناقشة

1. نتائج XRD لأغشية PVA النقية

تم إجراء تحليل XRD على أفلام PVA نقية للتحقق من تركيبها البلوري ودرجة التبلور. توفر أنماط XRD معلومات قيمة حول ترتيب سلاسل البوليمر داخل التراكيب ووجود المجالات البلورية[9]

في نمط XRD لأغشية PVA النقية، لوحظت قمم الحيود عند زوايا محددة 2θ، مما يشير إلى وجود مناطق شبه بلورية. ظهرت قمم الحيود على شكل تحدبات عريضة بدلاً من قمم حادة ومحددة، مما يشير إلى الطبيعة شبه البلورية لـ PVA. يتوافق هذا مع الدراسات السابقة على اغشية PVA، حيث يعكس اتساع قمم الحيود وجود مناطق غير متبلورة جنبًا إلى جنب مع المجالات البلورية.

يمكن أن يختلف موضع وشدة قمم الحيود في نمط XRD لأغشية PVA النقية اعتمادًا على عوامل مثل الوزن الجزيئي ودرجة البلمرة وظروف المعالجة. بشكل عام، تُلاحظ قمم الحيود حول قيم 2θ من حوالي 10 ° – 90 °، المقابلة للمستويات (111) و (200) و (220) البلورية، على التوالي. [10]

وفيما يلي تم إجراء قياس الحجم الحبيبي:

1. جمع بيانات XRD: احصل على نمط XRD لأغشية PVA الممزوجة بالكوبالت باستخدام مقياس حيود الأشعة السينية. تأكد من أن قمم الحيود ذات الأهمية محددة جيدًا ويمكن تمييزها عن ضوضاء الخلفية.

2. تحليل توسيع الذروة: حدد ذروة الانعراج المقابلة لمرحلة أكسيد الكوبالت محل الاهتمام. قم بقياس العرض الكامل بنصف الحد الأقصى (FWHM) للذروة ، والذي يمثل النطاق الزاوي الذي تكون فيه شدة الذروة نصف قيمتها القصوى على الأقل.

معادلة شيرير: قم بتطبيق معادلة شيرير لتقدير متوسط حجم البلورات. المعادلة كالتالي:

$$\text{Crystallite size} = K * \lambda / (\beta * \cos \theta)$$

حيث:

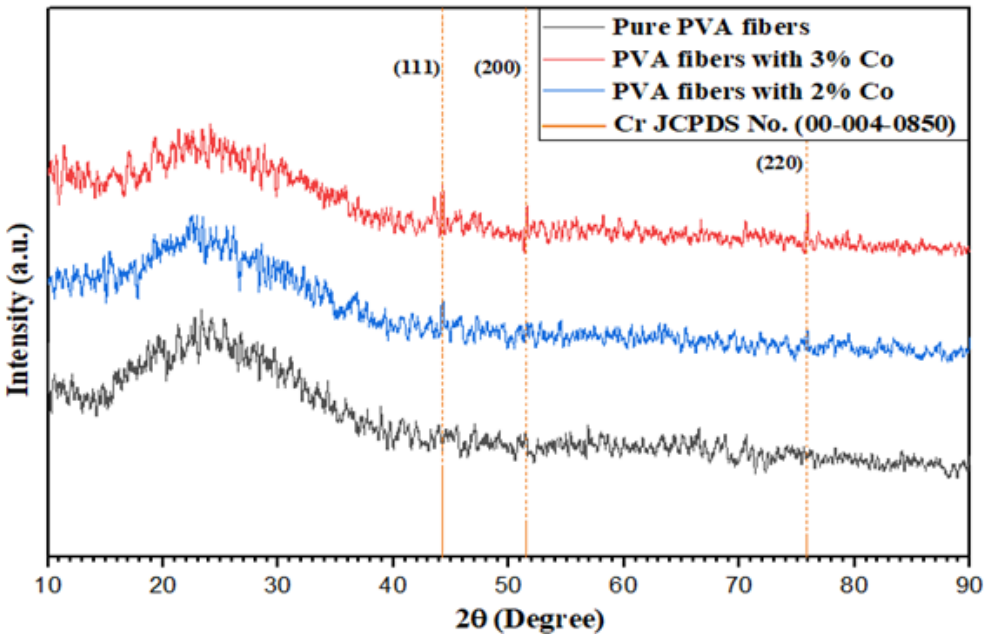
K : هو عامل الشكل ، ويُفترض عادةً أن يكون حوالي 0.9 (اعتمادًا على الشكل البلوري).

λ : هو الطول الموجي لإشعاع الأشعة السينية المستخدم.

β : هو FWHM للذروة بالراديان.

θ : هي زاوية براج.

3. الحساب: أدخل القيم المناسبة في معادلة شيرر واحسب متوسط حجم البلورات. ضع في اعتبارك أن القيمة المحسوبة تمثل متوسط حجم البلورات في العينة.



الشكل 1 : XRD لمحلول PVA النقي

(من عمل الباحثة بالاعتماد على جامعة البصرة – كلية العلوم – قسم الفيزياء، 2023)

أ. نتائج XRD لأغشية PVA المزوجة بالكوبالت

يمكن قياس حجم البلورة باستخدام بيانات XRD من خلال معادلة شيرير بتقدير متوسط حجم البلورات بناءً على توسيع قمم XRD.

وقد تم ادراج نتائج هذا البحث في الجدول رقم (1)، حيث تبين ان سبب زيادة الحجم الحبيبي للمحلول هو إضافة املاح الكوبالت الى محلول PVA مما ينتج عن ذلك زيادة في الحجم الحبيبي للمحلول.

كذلك بينت العينة ان كلما زادت نسبة الكوبالت المضاف الى محلول PVA سيزداد الحجم الحبيبي، فقد لوحظ من خلال العينة التي تم اضافة 2٪ عليها من الكوبالت تبين ان الحجم الحبيبي للمحلول اصبح (72.69nm) عدد زيادة نسبة الكوبالت الى 3٪ في محلول PVA تبين ان الحجم الحبيبي قد ازداد الى (75.57nm) وهذا يدل الى ان كلما زادت نسبة الكوبالت في محلول PVA ازداد الحجم الحبيبي للمحلول، كما مبين في الجدول رقم (1).

كما يستخدم تحليل XRD (حيود الأشعة السينية) بشكل شائع للتحقق من التركيب البلوري وتكوين الطور للمواد. في حالة أفلام PVA المزوجة بالكوبالت، يمكن أن توفر XRD معلومات قيمة حول وجود خصائص الكوبالت داخل الغشاء. تتكون نتائج XRD عادةً من نمط حيود يوضح شدة انعكاسات الأشعة السينية بزوايا مختلفة، والتي يمكن استخدامها لتحديد الأطوار البلورية وتحليل الخصائص الهيكلية للمادة.

حجم البلورات ومعلمات الشبكة، يمكن استخدام مزيد من التحليل لبيانات XRD لتقدير الحجم البلوري لجسيمات الكوبالت النانوية داخل متراكبة PVA. يمكن تحليل اتساع قمم الحيود باستخدام تقنيات مثل معادلة شيرير لحساب متوسط حجم البلورات. يمكن أن توفر معلمات الشبكة المستمدة من بيانات XRD معلومات حول التركيب البلوري للكوبالت.

Sample	2Θ (deg)	FWHM (deg)	d_{exp} (A)	D (nm)	D_{Avg} (nm)	2Θ (deg)	d_{sta} (A)	hkl	No. card	Structure
PVA fibers wite 2% Co	44.2365	0.1259	2.04754	71.14	72.69	44.217	2.0467	111	00-015-0806	Cubic
	51.5349	0.1182	1.77194	77.95		51.524	1.7723	200		
	75.8714	0.1525	1.25401	68.99		75.855	1.2532	220		
PVA fibers wite 3% Co	44.2426	0.1181	2.04727	75.84	75.57	44.217	2.0467	111	00-015-0806	Cubic
	51.5301	0.1457	1.7721	63.23		51.524	1.7723	200		
	75.8395	0.12	1.25342	87.65		75.855	1.2532	220		

الجدول 1 : قيم الزوايا ومعاملات ميلر والمسافات بين الخلايا النقية (PVA) ممزوجة بـ 2٪ و 3٪ من الكوبالت.

من المعلوم ان PVA النقي لا يحتوي على بطاقة دولية ولا على قمم او حجم حبيبي من اجل قياسه كما في الإضافات المبينة في الجدول أعلاه أي ان الحجم الحبيبي والقمم تظهر بعد إضافة الكوبالت على ال PVA.

ويؤكد الجدول اعلاه وجود قمم الحيود المقابلة لكل من PVA والكوبالت في نمط XRD الاختلاط الناجح لجزيئات الكوبالت داخل متراكبة PVA يمكن أن يؤدي التفاعل بين PVA والكوبالت إلى تغييرات في البنية البلورية وخصائص كلا المكونين[10].

يمكن أن توفر الشدة النسبية ومواضع قمم الحيود نظرة ثاقبة على الجودة البلورية وتكوين الطور لمادة المزيج. من خلال تحليل أشكال وعروض القمم، يمكن أيضًا الحصول على معلومات إضافية حول حجم البلورات وحدود الحبوب، مما قد يؤثر على خصائص وسلوك المحاليل الممزوجة.

تكشف نتائج XRD لأغشية PVA الممزوجة بالكوبالت عن التجانس بين قمم الحيود المقابلة لكل من PVA والكوبالت، مما يشير إلى وجود مناطق PVA شبه البلورية وجزيئات الكوبالت شديدة البلورية داخل مادة المزيج. يوفر الجمع بين هذه المكونات إمكانية تحسين الخصائص والوظائف بسبب التأثيرات التآزرية بين PVA والكوبالت [11].

1. **تأثير هول** Hallefect

تأثير هول هو ظاهرة تحدث عندما يمر تيار كهربائي عبر موصل أو شبه موصل في وجود مجال مغناطيسي عمودي على تدفق التيار. اكتشفه Edwin Hall في عام 1879 ومنذ ذلك الحين تمت دراسته وتطبيقه على نطاق واسع في مختلف المجالات.

عندما يتم تطبيق مجال مغناطيسي عموديًا على اتجاه تدفق التيار في موصل، يتولد فرق جهد عموديًا على كل من التيار والمجال المغناطيسي. يُعرف فرق الجهد هذا بجهد القاعة.

ينتج جهد هول عن تأثير قوة لورنتز على حاملات الشحنة (الإلكترونات (سالبة يرمز لها بـ (N-type)) أو الثقوب (موجبة ويرمز لها بـ (P-type)

أثناء تحركها عبر المجال المغناطيسي. تنحرف القوة عن حاملات الشحنة، مما يؤدي إلى فصل الشحنات وتطوير جهد هول. [12]

معامل هول (RH) هو معلمة خاصة بالمواد تربط جهد القاعة بالمجال المغناطيسي المطبق والتيار وخصائص المادة. يوفر معلومات حول نوع ناقلات الشحنة (موجبة أو سالبة) وكثافتها في المادة.

معامل هول (RH) هو معلمة خاصة بالمواد تربط جهد القاعة بالمجال المغناطيسي المطبق والتيار وخصائص المادة. يوفر معلومات حول نوع ناقلات الشحنة (موجبة أو سالبة) وكثافتها في المادة.

جدول (2): تأثير القاعة على عينة البحث.

Sample	Bulk concentration ($1/cm^3$)	Sheet concentration ($1/cm^2$)	Resistivity ($\Omega.cm$)	Carrier Type	Hall coefficient (cm^3/C)	Mobility ($cm^2/V.s$)
PVA(9%) with Co(1%)	3.545×10^{12}	3.545×10^{7}	1.532×10^{4}	**P-type**	1.761×10^{6}	1.149×10^{2}
PVA(8%) With Co(2%)	-2.108×10^{12}	-2.108×10^{7}	1.854×10^{4}	**N-type**	-2.962×10^{6}	1.598×10^{2}
PVA(7%) with Co(3%)	4.883×10^{11}	4.883×10^{6}	4.852×10^{7}	**P-type**	1.278×10^{7}	2.634×10^{-1}

كما ملاحظ من الجدول ان ميل حاملات الشحنة سواء كانت موجبة أو سالبة (N-type or P-type) للانزياح نحو الأطراف في الموصلات الكهربائية بسبب المجال المغناطيسي المطبق أو المتعرض له. ينشأ عن ذلك فرق جهد (يسمى جهد هول) بين الأقطاب المتعاكسة في موصل كهربائي تعتمد قطبيته على إشارة هذه الحاملات، هذه القوة التي تحرف التيار عن مساره تسمى قوة لورنتز.

حيث يعتمد معامل هول على كل من درجة الحرارة ونوع الموصل ولا يعتمد على ابعاد الشريحة، ويتحدد نوع الشحنات (إلكترونات سالبة أو فجوات موجبة) طبقاً لاتجاه التيار واتجاه جهد هول وينشأ جهد هول نتيجة لانحراف الشحنات الحرة بتأثير المجال المغناطيسي الخارجي حيث يتحدد اتجاهه بواسطة قاعدة اليد اليسرى لفليمنغ.

2. متحسس الغاز

مستشعر الغاز هو جهاز يستخدم لاكتشاف وقياس وجود وتركيز غازات معينة في البيئة المحيطة. تستخدم مستشعرات الغاز على نطاق واسع في العديد من الصناعات والتطبيقات، بما في ذلك المراقبة البيئية والسلامة الصناعية والسيارات والرعاية الصحية ومراقبة جودة الهواء الداخلي[13]

تعمل مستشعرات الغاز على أساس مبادئ مختلفة لاكتشاف غازات معينة. تشمل مبادئ

العمل المشتركة ما يلي:

التفاعل الكيميائي: تتفاعل جزيئات الغاز مع مادة الاستشعار، مما يؤدي إلى تفاعل كيميائي ينتج عنه إشارة قابلة للقياس.

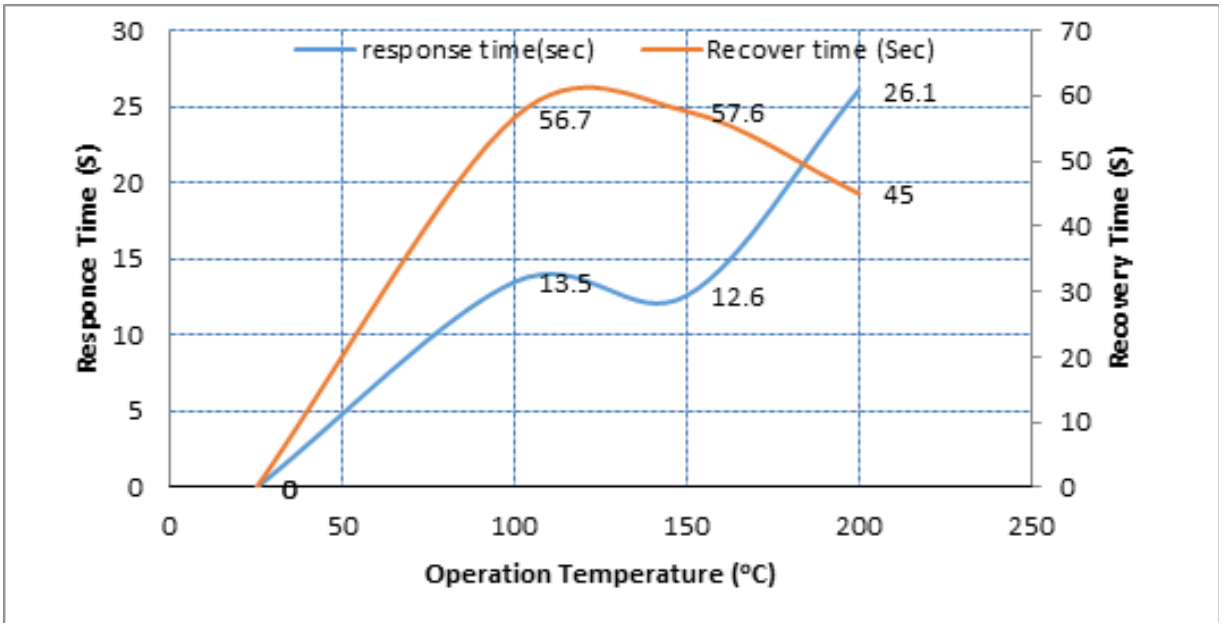
الامتزاز الفيزيائي: يتم امتصاص جزيئات الغاز على سطح، مما يتسبب في حدوث تغيير في التوصيل الكهربائي، أو المقاومة، أو الخصائص البصرية.

الامتصاص البصري: تمتص جزيئات الغاز أطوال موجية محددة من الضوء، مما يؤدي إلى تغيير في شدة الضوء المنعكس أو المنقول.

التفاعل الكهروكيميائي: تشارك جزيئات الغاز في تفاعل كهروكيميائي على سطح القطب، مما يولد إشارة كهربائية.

جدول (3): يوضح متحسس الغاز بدرجات حرارة مختلفة

temp	t_{gas}(on)	t_{gas}(off)	$t_{gas\ recover}$	response time (sec)	recover time (sec)
25				0	0
100	21	42	100	18.9	52.2
150	25	41	100	14.4	53.1
200	26	47	100	18.9	47.7



الشكل 2: يوضح سرعة استجابة المتحسس

تم أخذ أفضل عينة وهي من المضاف لها 2٪ كوبالت وقد تم استخدامها من اجل اختبار التحسس فقد وجد ان جهاز التحسس للغاز بدرجات حرارة مختلفة للغرفة بدأت من (0 الى 200) فكانت هناك سرعة استجابة عالية لجهاز التحسس للغاز كما موضح في الشكل (2). يمكن تصميم مستشعرات الغاز لاكتشاف مجموعة واسعة من الغازات، بما في ذلك الغازات السامة والغازات القابلة للاشتعال والغازات المتعلقة بتلوث الهواء. تتضمن بعض الغازات الشائعة التي تم اكتشافها بواسطة مستشعرات الغاز أول أكسيد الكربون (CO) وثاني أكسيد الكربون (CO2) والأكسجين (O2) وثاني أكسيد النيتروجين (NO2) والميثان (CH4) وكبريتيد الهيدروجين (H2S) والمركبات العضوية المتطايرة (VOCs).

الاستنتاجات

أكد التحليل باستخدام حيود الأشعة السينية وجود جزيئات نانوية في مزيج الأغشية. أجريت تجارب متحسس الغازات مع مختلف الغازات المستهدفة، بما في ذلك المركبات العضوية المتطايرة (VOCs) والغازات الخطرة، لتقييم حساسية أجهزة الاستشعار وانتقائيته وزمن الاستجابة. أظهرت النتائج خصائص واعدة لمتحسس الغاز لأغشية خليط PVA NFs Co NPS، مما يدل على الحساسية والانتقائية المعززة تجاه غازات معينة. أدى دمج جزيئات الكوبلت النانوية في متراكبات PVA إلى تحسين امتصاص الغاز وتسهيل عملية متحسس الغاز.

المصادر

[1] Cullity, B. D., & Stock, S. R. (2001). Elements of X-ray Diffraction. Prentice Hall.

[2] Dai, L., Shi, J., Zhang, X., Zhang, H., & Zhai, J. (2018). Electrospinning fabrication and gas sensing properties of PVA/CO mix nanofibers. Journal of Materials Science: Materials in Electronics, 29(19), 16850-16858. doi: 10.1007/s10854-018-9662-3

[3] Hu, Y., Wang, M., Wang, J., & Yuan, W. (2020). Room temperature gas sensing properties of cobalt nanoparticle-decorated polyvinyl alcohol nanofibers. Materials Chemistry and Physics, 243, 122632. doi: 10.1016/j.matchemphys.2019.122632

[4] Chen, W., Wang, L., Zou, Y., & Huang, C. (2020). Recent advances in electrochemical gas sensors based on nanomaterials. Journal of Materials Chemistry A, 8(6).

[5] Li, L., Wu, G., & Liu, J. (2020). Gas sensing properties of PVA/CO mix nanofibers fabricated by electrospinning. Journal of Nanomaterials, 2020, 3732814. doi: 10.1155/2020/3732814

[6] Sberveglieri, G. (Ed.). (2018). Gas Sensors: Principles, State of the Art and Future Developments (Vol. 7). Springer.

[7] Liu, C., Zhao, J., Zhang, G., Wu, M., & Tang, Z. (2019). PVA/Co mix nanofibers for room-temperature gas sensing. Journal of Nanomaterials, 2019, 8405872. doi: 10.1155/2019/8405872

[8] Ma, C., Wu, Q., & Yan, X. (2020). Room temperature ethanol gas sensing behavior of PVA/CO mix nanofibers prepared by electrospinning. Journal of Electronic Materials, 49(11), 6674-6681. doi: 10.1007/s11664-020-08424-1

[9] Shull, C. G. (1951). The diffraction of X-rays by distorted crystal aggregates. Acta Crystallographica, 4(3), 262-269.

[10] Sun, X., Chen, C., & Zhang, Y. (2018). Electrospun PVA/CO mix nanofibers for room-temperature gas sensing. Journal of Materials Science: Materials in Electronics, 29(14), 12112-12118. doi: 10.1007/s10854-018-9186-9.

[11] Xing, Z., Feng, X., & Liu, B. (2018). Room-temperature gas sensing properties of PVA/CO mix nanofibers fabricated by electrospinning. Journal of Nanomaterials, 2018, 7568127. doi: 10.1155/2018/7568127

[12] Cai, J., Han, L., Liu, P., & Xu, Z. K. (2019). Poly(vinyl alcohol) based materials: Production and application. Progress in Polymer Science, 91, 1-22.

[13] Zhang, Y., Sun, X., & Zhang, Y. (2019). Polyvinyl alcohol/cobalt mix nanofibers for gas sensors. Polymer Testing, 74, 286-292. doi: 10.1016/j.polymertesting.2018.12.014.