

دراسة تحسس غشاء من خليط بوليميري مرسب على دليل موجة لبخار الماء

محمد جاسم المزعل- د. عماد محمد اسعد - د. محمد بهاء محمد علي الصوص

¹المعهد العالي لبحوث الليزر وتطبيقاته، جامعة دمشق، سوريا

mohammad.almezel@damascusuniversity.edu.sy

²استاذ مساعد في قسم العلوم الاساسية في كلية الهندسة الميكانيكية و الكهربائية في جامعة دمشق

imad.asaad@damascusuniversity.edu.sy

³مدير بحوث في هيئة الطاقة الذرية السورية

mbalsous@aec.org.sy

الملخص:

رُسب غشاء من خليط بوليميري من البولي فينيل بيروليدون (PVP) مع بولي إيثيلين غليكول (PEG) على ليف بصري بتقنية التغطية بالتغطيس لدراسة إمكانية استخدامه كمجس لبخار الماء. حيث جرى إزالة جزء من سطح الليف الضوئي بحمض فلوريد الهيدروجين (HF)، و استخدم ديود ليزري بطول موجة 635nm لتحديد مقدار التفاعل بين الحمض والليف وتآكل الليف. يعتمد مبدأ عمل المجس على تغير شرط انتشار الحزمة الضوئية ضمن الليف البصري بتغير نسبة بخار الماء المحيط بالغشاء. لوحظ وجود حساسية للمجس عند تغير نسبة بخار الماء من 65% إلى 95% و بلغت قيمتها 0.0934 dB/RH. كان التغير خطياً ضمن مجال العمل حيث $R^2 = 0.98$. تم التحقق تجريبياً من إمكانية استخدام المجس لمراقبة عملية التنفس حيث بلغ زمن الاستجابة 0.033 s/RH%.

الكلمات المفتاحية: قرينة الانكسار، دليل الموجة، بولي فينيل بيروليدون PVP، بولي إيثيلين غليكول PEG.

تاريخ الإيداع: 2022/08/10

تاريخ الموافقة: 2022/10/04



حقوق النشر: جامعة دمشق -

سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق

النشر بموجب الترخيص

CC BY-NC-SA 04

Study of the sensitivity to water vapor of apolymer blend film coated on a waveguide

Mohammad Jasem Almezel– Dr. IMAD Mohamad asaad– Dr. Mohammad Baha (mhd Ali) Alsous

¹Ph.D student, Higher Institute for Laser Research and Applications (HILAR), Damascus University, Syria.

mohammad.almezel@damascusuniversity.edu.sy

²Associate prof Faculty of Mechanical and Electrical Engeeniring Damascus university

imad.asaad@damascusuniversity.edu.sy

³Department of Physics, Atomic Energy Commission, Damascus, Syria

mbalsous@aec.org.sy

Abstract

Ablend of Polyvinyl pyrrolidone (PVP) and Polyethylene glycol (PEG) film was coated on an optical fiber using dip coating technique. The use of this film as a water vapor sensor was studied. The hydrogen fluoride (HF) acid was used to remove part of the fiber surface. The fiber corrosion and the interaction between the acid and the fiber was controlled optically by a laser diode at 635nm. The sensor is based on the effect of the surrounding water vapor on the film refractive index, thus the wave guiding condition in the fiber. the sensor was operational for values of water vapor ratio extending from 65% to 95%, with a sensitivity of 0.0934 dB/RH. The sensor was found to be linear for this interval with $R^2 = 0.98$. The use of this sensor respiration monitoring was verified experimentally and the response time was estimated to be 0.033 s/RH%.

Received :2022/08/10

Accepted:2022/10/04



Copyright: Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a CC BY- NC-SA

Key words: Refractive index, Waveguide, Polyvinyl pyrrolidone PVP , Polyethylene glycol PEG

1- المقدمة:

يعدّ قياس نسبة بخار الماء (الرطوبة النسبية RH) أمراً مهماً في المجال الزراعي والصيدلاني و الأظعمة والصحة العامة والطقس. حيث تعاني حساسات الرطوبة التقليدية الكهربائية تغييراً كبيراً في منحني الاستجابة أثناء تعرضها لرطوبة عالية لفترة طويلة، إضافة إلى أنها تتأثر بالحقول الكهربائية. لذلك توجه الاهتمام إلى حساسات الرطوبة الضوئية، وخصوصاً الحساسات الليفية الضوئية. لأنها لا تتأثر بالحقول الكهربائية وعالية الحساسية وسهلة التصنيع وصغيرة الحجم [1]. هناك تصاميم عديدة لحساسات الرطوبة الليفية الضوئية. يعتمد مبدأ عملها على عدد من الآليات، من هذه الآليات (1) التغير الحاصل في الشدة الضوئية المنقادة ضمن الليف [2,3]، (2) التغير الحاصل في نموذج التداخل الناتج عن فرق المسير الضوئي لأشعة الحزمة المتداخلة [4,5]، (3) تغير طيف الحزمة النافذة الناتج عن شبكة الانعراج داخل الليف [1]. عرضت الأدبيات أثناء تصميم حساسات الرطوبة أنه يتم نزع اللحاء عن الليف بطريقة التآكل الكيميائي [6]، أو بطريقة الحك الميكانيكي الجانبي [3,7]، أو بطريقة مط الليف بعد تسخينه [8,9]. بني أول حساس رطوبة عام 1985 باستخدام ليف ضوئي بطول 12cm مع غشاء حساس من الجلوتين وثنائي كلور الكوبالت (CoCl₂/gelatin) [10]. وفي عام 2003 استخدم غشاء من خليط البوليميرات HEC/PVDF على لب ليف بصري بلاستيكي قطره 1mm مصنوع من بوليمير PMMA وقرينة انكساره 1.489، وليزر بطول موجة 680 nm. يعمل الحساس ضمن المجال 20-80%RH، يتميز بعدم تأثره بالحرارة، وبزمن استجابته لا يتجاوز 5s عند تغير الرطوبة النسبية بمقدار 50% [11]. في عام 2000 استخدم agarose gel كغشاء على ليف بصري خُفص قطره بطريقة الشد بعد التسخين وحصل على حساس يعمل بمجال رطوبة من 30% إلى 80% [8]. استخدم غشاء PVA على ليف وحيد النمط خُفص قطره بطريقة الحك الميكانيكي الجانبي (side polishing) كحساس رطوبة وباستخدام طول موجة $\lambda = 1310$ nm، كان مجال الحساسية من 70%RH إلى 90%RH [7]. استخدم البوليمير بولي إيثيلين غليكول (PEG) كغشاء حساس لبخار الماء ووجد تجريبياً أن له استجابة ضمن مجال رطوبة (14-12) [12] (95%RH). مؤخراً استخدمت مواد نانوية في تغشية الحساسات الليفية لتحسين أداءها حيث استخدم عام 2016 ثنائي كبريت التنغستن كغشاء حساس كانت الحساسية 0.12 dB/%RH ضمن مجال رطوبة من 35% إلى 85% [3]. ويمكن القول أنه لا تزال الأبحاث جارية بهدف تحسين زمن الاستجابة والحساسية والتكرارية.

نعرض في هذا البحث استخدام غشاء بوليميري من مزيج مادتي بولي فينيل بيروليدون (PVP) و polyvinylpyrrolidone (PVP) و بولي إيثيلين غليكول (PEG) polyethylene glycol مرسب على ليف بصري متعدد النمط نزع جزء من سطحه بالتآكل الكيميائي بتفاعله مع حمض فلوريد الهيدروجين كحساس لبخار الماء. نتناول في ما يلي مراحل صنع الحساس والنتائج التجريبية لاستخدام هذا المزيج البوليميري لأول مرة كغشاء حساس لبخار الماء.

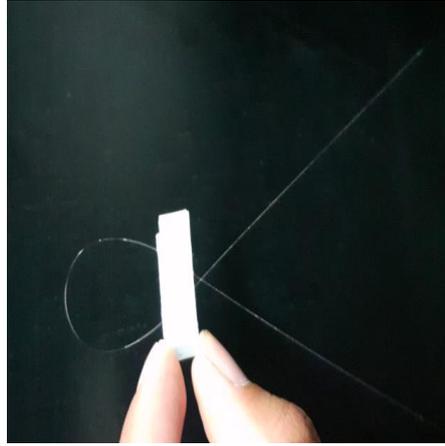
2- مواد البحث وطرقه:

ينقسم العمل التجريبي إلى عدة خطوات: خفض قطر الليف بتفاعله الكيميائي مع الحمض - تحضير الخليط البوليميري - تغشية الليف - قياس حساسية الغشاء لبخار الماء، و فيما يلي شرح تفصيلي لهذه الأعمال التجريبية.

2-1 خفض قطر الليف:

استخدم ليف بصري GIF625 صنع شركة Thorlabs قطر لبه 62µm وقطره مع اللحاء 125µm وهو متعدد النمط ذو قرينة انكسار متدرجة (graded index) وفتحته العددية 0.275 مصنوع من مادة SiO₂ مع نسبة صغيرة من ذرات شائبة أضيفت للتحكم بقيمة قرينة انكسار اللب واللحاء.

تم قطع 30cm من الليف و استخدمت نازعة غطاء ألياف بصرية (CFS-2) لإزالة الغلاف البلاستيكي عن 5cm تقريباً من الجزء المتوسط منه ومن ثم نظف ذلك الجزء بالأسيتون، وثبت الليف على حامل مناسب ليشكل الجزء الحساس من الليف قوساً من دائرة قطرها 2.5cm كما هو موضح بالشكل (1).



الشكل (1) الجزء الحساس من الليف البصري

استخدم حمض فلوريد الهيدروجين (HF) بتركيز 40% لإزالة اللحاء عن الليف (خفض قطر الليف). حيث عُطس الليف في حمض فلوريد الهيدروجين لأزمنة مختلفة وقيس قطر الليف بعد التغطيس من أجل كل زمن باستخدام المجهر الضوئي المزود بمنظومة حاسوبية تعطي قيمة لقطر الليف. يتم وضع العينة في مكانها المخصص ويتم ضبط موضعها بالنسبة للعدسة يدوياً حتى الحصول على صورة واضحة، وباستخدام برنامج حاسوبي تؤخذ صورة للعينة، ويمكن قياس أبعاد العينة في الصورة باستخدام الحاسب. تعابر المنظومة الحاسوبية بشكل متكرر للحصول على قيمة دقيقة. أدرجت نتائج قياس قطر الليف بدلالة زمن التغطيس في الجدول (1) في فقرة النتائج التجريبية.

2-2 تحضير الخليط البوليميري:

في الأدبيات العلمية الخاصة بدراسة حساسات الرطوبة، تم اختبار إمكانية استعمال غشاء حساس للرطوبة من البولي إيثيلين غليكول (PEG) وحده [12]. واختبار غشاء من البولي فينيل بيروليدون (PVP) مع جسيمات نانوية [16].
نقوم في هذا العمل، ولأول مرة، بدراسة إمكانية بناء حساس من خليط بوليميري محدد من البولي فينيل بيروليدون (PVP) والبولي إيثيلين غليكول (PEG)، ودراسة أثر ذلك على الحساسية. لذلك تم تحضير محلول من خليط بوليميري من PVP (من شركة BASF Pharma - ألمانيا، $95\% < 250 \mu\text{m}$) باستخدام المحل العضوي الإيثانول، بتركيز 10% بالنسبة للبولي فينيل بيروليدون وتركيز 1% من البولي إيثيلين غليكول في المحل. بعد مزج المكونات تم وضع المزيج في حمام مائي مع هزازة لمدة 60 دقيقة عند درجة حرارة 40 درجة مئوية حتى تمام الانحلال والحصول على محلول شفاف. وسنبين فيما يلي اختبار صلاحية استخدام هذا المزيج المرسب على سطح الليف كحساس لبخار الماء.

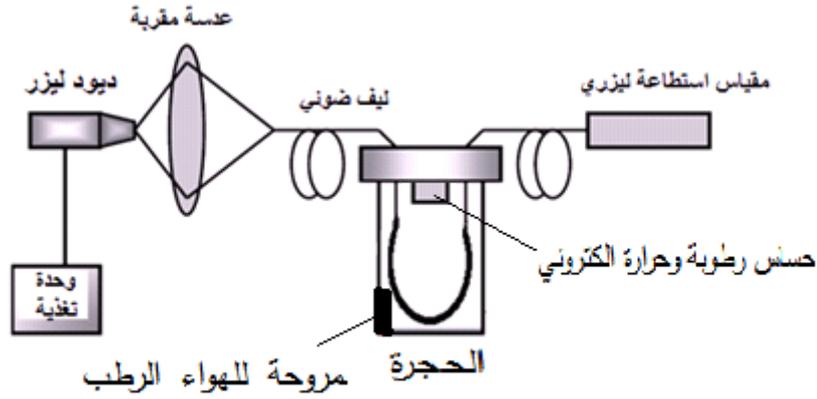
2-3 تغشية الليف:

بعد الانتهاء من عملية خفض قطر الليف بحمض فلوريد الهيدروجين، غُسل الليف بالماء المقطر ثم وضع بالمجففة عند درجة حرارة 60°C لمدة 10 min، جرى تغشية الليف باستخدام جهاز التغشية بالتغطيس (dip coater) المصنع محلياً والذي يسمح بالتحكم عن طريق وحدة قيادة بسرعة اللوج و الخروج من المحلول، وزمن البقاء للعينة في المحلول وعدد مرات الدخول ضمن المحلول (عدد الغطيات) ضبطت بارامترات عملية التغشية على القيم التالية (المحددة تجريبياً للحصول على التغشية الأمثل) سرعة دخول الليف وخروجه من المحلول 0.96cm/s زمن مكوث العينة في المحلول 5s، وعدد الغطيات غطة واحدة. بعد انتهاء عملية التغشية، جُفف الليف المغشى بالمجففة عند درجة حرارة 60°C لمدة 45min.

2-4 قياس حساسية الغشاء لبخار الماء:

بعد عملية خفض قطر الليف وتغشيته بالخليط البوليميري كما هو موصف في الفقرة السابقة. تُبث الليف الضوئي ضمن حجرة مصنعة محلياً، يمكن التحكم بدرجة الحرارة ومستوى الرطوبة بداخلها، كونها مزودة بمروحة للهواء الرطب للتحكم بمستوى الرطوبة

ومقاومات حرارية للتحكم بدرجة الحرارة، وزودت الحجرة أيضا بحساس رطوبة وحرارة الكتروني، الشكل (2) يوضح مخطط التجربة. حقنت حزمة ليزرية بطول موجة $\lambda=1550\text{nm}$ صادرة عن الديود الليزري LPS1550-FC في الليف متعدد النمط بعد عبورها عدسة مناسبة. قيست استطاعة الحزمة الليزرية النافذة من الليف بواسطة مقياس استطاعة ليزري.



الشكل (2) مخطط التجربة.

3- النتائج والمناقشة:

كما هو معروف، يتألف الليف البصري من خيط زجاجي مؤلف من اسطوانتين متحدثي المحور هما اللب في المركز ويحيط به اللحاء [13]. يمكن تمثيل الحقل الكهربائي E بالإحداثيات الاسطوانية (r, Φ, z) والمنتشر وفق المحور Z (موازي لمحور الليف) بالعلاقة التالية:

$$E = E_0 e^{j(\omega t - \beta z)} \quad (1)$$

حيث E_0 القيمة العظمى للحقل الكهربائي و ω التردد الزاوي و t الزمن و β هي مركبة ثابت الانتشار k على المحور Z ، حيث $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ [13].

ووفق معادلات مكسويل والشروط الحدية فإن β تأخذ قيماً محددة، ويجب أن تحقق الشرط التالي:

$$\langle kn_{cl} < |\beta| < kn_{co} \rangle \quad (2)$$

حيث n_{co} قرينة انكسار اللب و n_{cl} قرينة انكسار اللحاء [13].

وهذا يعني أنه إذا أزيل اللحاء ورسبت مادة أو بوليمير بدلاً عنه حول اللب، و تغير مستوى الرطوبة النسبية حول الغشاء فإن قرينة انكسار الفلم على سطح الليف n_{cl} تتغير، وبالتالي ستتغير شروط انتشار الحزمة عبر الليف، وبالتالي سيتغير مقدار شدة الحزمة النافذة من الليف البصري.

لذلك لا بد أولاً من إجراء دراسة لعملية نزع اللحاء وخفض قطر الليف. جرى تغطيس الليف في حمض فلوريد الهيدروجين من أجل أزمنة مختلفة، وفي كل مرة جرى قياس قطر الليف بعد التغطيس، و قد أدرجت النتائج في الجدول (1).

الجدول (1) قيمة قطر الليف عند أزمنة تغطيس مختلفة بحمض فلوريد الهيدروجين.

t(min)	0	10	20	30	40	41.5	43	44
d(μm)	125	106	91	74	56	54	53	48

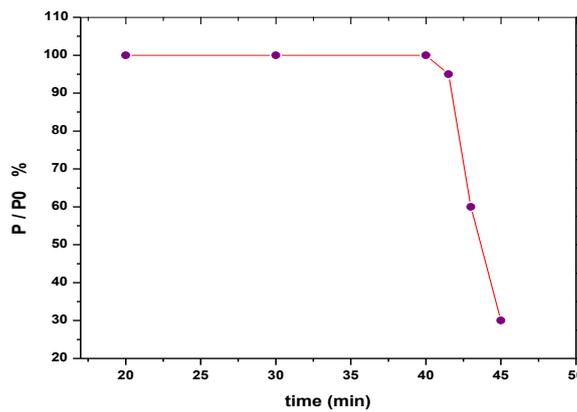
نلاحظ من الجدول (1) أن قطر الليف ينقص بزيادة زمن تغطيسه في الحمض، وبلغ أقل قطر له $48\mu\text{m}$ تقريباً عند زمن تغطيس بالحمض 44min ، وبعد ذلك يتعرض الليف للانقطاع اذا استمر التغطيس بحمض فلوريد الهيدروجين. وفقاً للنتائج الواردة في الجدول (1)، بلغ معدل التآكل $1.75\ \mu\text{m}/\text{min}$. ويعود سبب تناقص قطر الليف عند التغطيس بحمض فلوريد الهيدروجين إلى التفاعل الكيميائي بين الحمض ومادة اللحاء والتي يؤدي إلى تأكلها وبالتالي تناقص قطر الليف. لوحظ أنه عند إعادة تغطيس الليف البصري في الحمض لزمن معين باستخدام نفس الحمض و بنفس التركيز نحصل على قيم مختلفة لقطر الليف رغم أن لها زمن التغطيس عينه، ويعزى هذا إلى تغير درجة الحرارة ودقة قياس تركيز الحمض أثناء عملية التآكل، واختلاف فعالية الحمض بعد تكرار استخدامه. نستنتج أن الاعتماد على زمن التغطيس فقط لتوصيف مقدار التآكل (تحديد قطر الليف) هو آلية غير دقيقة البتة، وأنه لا بد من إيجاد طريقة مرجعية وذات تكرارية وموثوقية لتحديد مقدار التآكل بدقة بحيث تمكننا لاحقاً من توصيف و دراسة عمل المجس وضمان تكرارية العمل التجريبي.

جرى في هذا العمل حقن حزمة ليزرية $\lambda = 635\ \text{nm}$ في الليف أثناء عملية التآكل واستقبال الحزمة الليزرية النافذة عند نهايته بمقياس الاستطاعة الليزرية. جرى اعتماد التغير النسبي لقيمة الاستطاعة الليزرية النافذة من الليف أثناء عملية التآكل، لتحديد مقدار التآكل وبالتالي قيمة قطر الليف، كبديل عن استخدام المجهر الضوئي أو زمن التغطيس. حيث للاستطاعة النافذة علاقة بقطر الليف وفق العلاقة التالية [17]:

$$P_{\text{out}} = P_{\text{in}} \left[\frac{n_1^2 - n^2}{r^2(n_1^2 - n_2^2)} \right] \quad (3)$$

حيث: P_{in} الاستطاعة المحقونة في الليف و P_{out} الاستطاعة النافذة من الليف و n_1 ، n_2 ، n قرائن انكسار اللب واللحاء والمادة التي تحل محل اللحاء اثناء التآكل على الترتيب (ولدينا دوماً $n < n_1$)، و $r = a_i/a_0$ حيث a_i القطر قبل التآكل و a_0 القطر بعد التآكل.

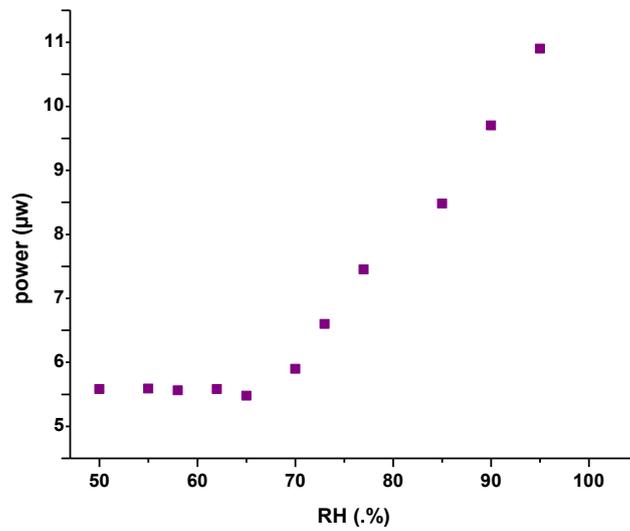
أخذت قيم شدة الحزمة الليزرية النافذة من الليف عند أزمنة تغطيس مختلفة، وأدرجت النتائج في الشكل (3)، وُحِد قطر الليف عند كل زمن باستخدام المجهر الضوئي.



الشكل(3) تغير الاستطاعة النافذة النسبية بدلالة زمن التغطيس في الحمض.

نلاحظ أن الاستطاعة الليزرية النافذة النسبية تبقى ثابتة لزمن يقارب 40 دقيقة (تقابل قطر $60\mu\text{m}$ تقريباً). و ذلك لأن الليف المستخدم من النمط متدرج قرينة الانكسار وبالتالي فإن الحزمة الليزرية تنتشر داخل اللب ولا تمتد إلى اللحاء كما هو الحال في الليف درجي قرينة الانكسار. ثم تبدأ الشدة النافذة الليزرية بالهبوط عند الوصول لللب الليف حتى تتعدم عند زمن 45min . جرى

قياس قطر الليف عند بدء هبوط الاستطاعة النافذة فيبلغ تقريباً $56 \mu\text{m}$. أعيدت هذه التجربة مرات عديدة وفي كل مرة يتم قياس قطر الليف عند بدء هبوط الاستطاعة وتكون قيمة القطر نفسها أي أن هناك توافقاً تاماً ودائماً بين تغير الشدة النافذة وقطر الليف الضوئي، في حين كان هناك تباين أحياناً بين زمن التغطيس وقيمة قطر الليف. وبالتالي أمكن الاعتماد على نسبة الشدة الليزرية النافذة من الليف أثناء عملية التآكل للتنبؤ بمقدار مقدار قطر الليف. بعد الانتهاء من تجربة ضبط قطر الليف أثناء التآكل، جرى توضع الغشاء البوليميري على الليف البصري كما هو وارد في الفقرة 2-3. جرى دراسة حساسية المجس لبخار الماء، وذلك بتغيير قيمة الرطوبة النسبية المطبقة على الغشاء المرسب على الليف الضوئي باستخدام مروحة لضخ هواء رطب ضمن حجرة الرطوبة (الشكل 2). قيست الشدة النافذة من نهاية الليف الضوئي عند كل قيمة للرطوبة كما هو موضح في الشكل (4)



الشكل (4) تغير الاستطاعة الليزرية النافذة بدلالة مقدار الرطوبة المحيطة بالغشاء.

نلاحظ من الشكل (4) أن استطاعة الحزمة الليزرية النافذة لا تتغير عندما تكون قيمة الرطوبة النسبية أقل من 60%، وتزداد الشدة النافذة بشكل ملحوظ بزيادة الرطوبة من أجل قيم أكبر من 65%. ويعود سبب زيادتها إلى تغير قرينة انكسار الغشاء بتغير الرطوبة [14]، وكلما ازدادت نسبة الرطوبة تغيرت قرينة الانكسار حيث تتناسب كتلة الرطوبة C_m الممتزة في وحدة الحجم في البوليمير مع الرطوبة المحيطة H بالعلاقة [14]:

$$C_m = S.H \quad (4)$$

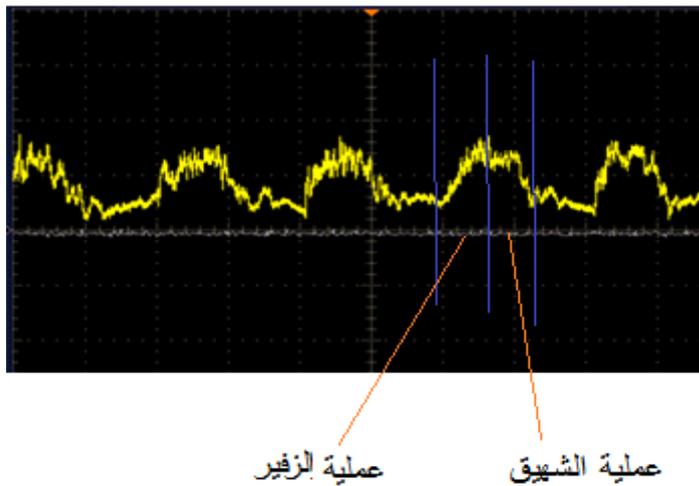
حيث S ثابت الانحلال للبوليمير.

يعطى التغير في قرينة انكسار البوليمير n مع الرطوبة المحيطة H بالعلاقة [14]:

$$\frac{\Delta n}{\Delta H} = \frac{(n^2 + 2)^2}{6n} K_m S \left(1 - \frac{f}{f_c}\right) \quad (5)$$

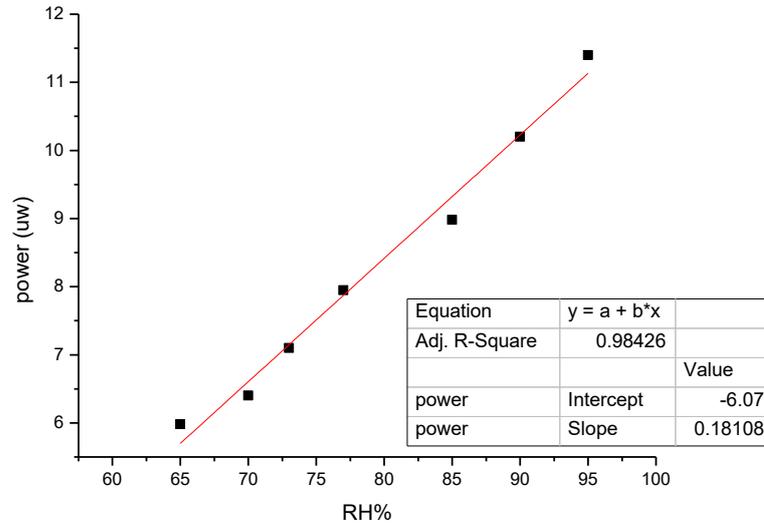
حيث K_m ثابت يتعلق بانكسارية البوليمير، و S ثابت الانحلال للبوليمير في الماء، و $(0 < f < 1)$ معامل يتعلق بالبوليمير. وإن تغير قرينة انكسار الغشاء يؤثر بدوره على شرط انقياد الضوء وذلك حسب العلاقة (2) وبالتالي يغير مقدار الضياعات ونسبة الاستطاعة المقادة ضمن الليف.

جرى دراسة إمكانية استخدام مجس الرطوبة لمراقبة عملية التنفس، واستخدم الليف وفق مخطط التجربة الشكل (2)، حيث يقوم المجرب بإجراء عملية الشهيق والزفير بالقرب من المجس المثبت واستقبال الحزمة الليزرية النافذة على كاشف موصول براسم اهتزاز. أثناء عملية الزفير تزداد الرطوبة وأثناء الشهيق تنقص الرطوبة، أي أن عملية الزفير توافق ما قمنا به في تجربة تغير الاستطاعة بتغير الرطوبة في الشكل (4). أخذت صورة لراسم الاهتزاز تبين استجابة المجس المصنع في هذا العمل لتغيرات نسبة بخار الماء الموجودة في عمليتي الشهيق و الزفير كما هو موضح في الشكل (5).



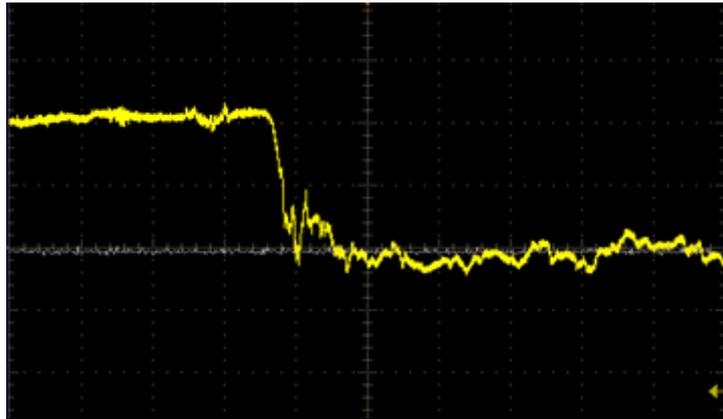
الشكل (5) تغير شدة الاشارة النافذة بدلالة تغير نسبة بخار الماء الناتج عن عملية التنفس.

نلاحظ من الشكل (5) تحسس المجس لبخار الماء المرافق لعملية التنفس، حيث تبلغ قيمة الرطوبة المرافقة للزفير 95% تقريباً وفق القيم التي يعطيها الحساس الالكتروني. وبالتالي يمكن استخدامه في التطبيقات الطبية الخاصة بمراقبة عملية تنفس المريض أثناء إجراء التصوير بأجهزة تعتمد في عملها على حقول كهرومغناطيسية شديدة، كون المجس المصنع يتميز بعدم التأثر بالحقول الكهرومغناطيسية. لتحويل الحساس الليفي الضوئي إلى جهاز عملي للقياس التطبيقي، يجب أن يتميز الحساس باستجابة خطية، لذلك تم إعادة رسم الشكل (4) ضمن مجال عمل المجس من 65% إلى 95% وإجراء ملاءمة لمنحني الاستجابة عن طريق برنامج حاسوبي فحصلنا على الشكل (6). يتضح من الشكل أن العلاقة بين الاستطاعة النافذة والرطوبة المحيطة خطية ضمن هذا المجال حيث بلغت $R^2 = 0.98$ مما يجعله قابلاً للتطبيق العملي.



الشكل (6) تغير الاستطاعة الليزرية النافذة بتغير الرطوبة من 65% إلى 95%.

تعتبر سرعة استجابة الحساس من المواصفات الهامة و الضرورية لأي حساس رطوبة، لذلك لابد من تحديد سرعة الاستجابة للمجس، جرى خفض مقدار الرطوبة المحيطة بالغشاء من قيمتها العظمى $RH=95\%$ إلى أقل قيمة رطوبة ممكنة (الرطوبة في هواء الغرفة $RH=35\%$)، وقياس الزمن اللازم لهبوط الاستطاعة الليزرية النافذة من قيمتها العظمى المقابلة لمستوى رطوبة $RH=95\%$ إلى قيمتها الابتدائية المقابلة لمستوى رطوبة $RH=35\%$. كان الزمن اللازم لهبوط الاستطاعة الناتج عن هبوط الرطوبة (2s). جرى استقبال الحزمة الليزرية النافذة عبر الليف على حساس موصول براسم اهتزاز ، حصلنا عن طريق راسم الاهتزاز على الشكل (7)، وحسبت سرعة الاستجابة فبلغت $0.033s/RH\%$



الشكل (7) تغير الإشارة النافذة بدلالة الزمن عند هبوط الرطوبة من 95% إلى 35%.

أدى العمل الحالي إلى الحصول على مجس ليفي ضوئي لبخار الماء بالاعتماد على غشاء من مزيج بوليميري. يمكن اعتبار أن هذا الحساس الليفي يمتلك مواصفات مقبولة بالمقارنة مع المنشور في الأدبيات عن هذا الصنف من حساسات الرطوبة. وندرج في الجدول (2) مقارنة نتائج العمل الحالي مع أعمال أخرى مشابهة [9,15,2].

الجدول (2) مقارنة نتائج عمل حساس الرطوبة الليفي الضوئي المصنع في هذا العمل مع الأعمال السابقة.

المرجع	مجال الرطوبة RH%	الحساسية
[2](2004)	55-85	0.066dB/ RH
[15](2011)	85-90	4 dB/ RH
[9](2020)	72-90	511.33nW/%RH
العمل الحالي	65-95	0.180μW/RH% 0.0934 dB/RH

الخلاصة:

تم اختبار قابلية استخدام غشاء من مزيج بوليميري من البولي فينيل بيروليدون (PVP) والبولي إيثيلين غليكول (PEG) على ليف بصري متعدد النمط كمجس لبخار الماء بالاعتماد على تغير شرط انتشار الحزمة الليزرية بتغير نسبة بخار الماء المحيطة به. استخدم حمض فلوريد الهيدروجين لنزع جزء من سطح الليف الضوئي. وتم التحكم بمقدار التفاعل باستخدام حزمة ليزر بطول موجة 635nm.

استخدمت طريقة التغطية بالتغطية لتوضيح مزيج البوليمير على الليف الضوئي منزوع اللحاء. جرى اختبار الحساس ضمن حجرة يمكن التحكم بدرجة حرارتها ونسبة بخار الماء فيها. تبين أنه يمكن استخدام الفلم كمجس لبخار الماء عند تغير نسبة بخار الماء من 65% إلى 95% من أجل المزيج البوليميري المقترح. بلغت قيمة الحساسية 0.0934 dB/RH وكانت الاستجابة خطية $R^2 = 0.98$ ، وبلغت سرعة الاستجابة 0.033s/RH% وتمكننا هذه السرعة من استخدام المجس المذكور في مراقبة عملية التنفس.

شكر:

نتوجه بالشكر الجزيل لكل من المعهد العالي لبحوث الليزر وتطبيقاته ممثلاً بالدكتورة ماجدة النحيلي عميد المعهد، وهيئة الطاقة الذرية السورية ممثلة بالدكتور إبراهيم عثمان المدير العام وكافة الكادر العلمي في قسم الفيزياء على المساعدة في إتمام هذا العمل.

4- المراجع:

- [1] Y. Wang , Y. Liu , F. Zou , C. Jiang , C. boMou and T. Wang, 2019, Humidity Sensor Based on a Long-Period Fiber Grating Coated with Polymer Composite Film, *Sensors*, 19(10), 2263.
- [2] A. Gaston, F. Perez, J. Sevilla, 2004, Optical fiber relative humidity sensor with polyvinyl alcohol film, *Appl. Opt.* 43 (21), 4127–4132.
- [3] Y. Luo, Ch. Chen, K. Xia, S. Peng, H. Guan, J. Tang, H. Lu, J. Yu, J. Zhang, Y. Xiao, and Z. Chen ,2016, Tungsten disulfide (WS₂) based all-fiber-optic humidity sensor, *Optics express*, 24(8), 8956-8966.
- [4] L.H.Chen, T.Li, C.C.Chan, R.Menon, P.Balamurali, M.Shailender, B.Neu, X.M.Ang, P.Zu, W.C.Wong, K.C.Leong, 2012, Chitosan Based fiber-optic Fabry–Perot Humidity sensor, *Sensors And Actuators*, B169, 167–172.
- [5] J.S.Santos, Ivo M.Raimundo Jr , Cristiano M.B.Cordeiro, Claudecir R.Biazoli, Carlos A.J.Gouveia, Pedro A.S.Jorge, 2014 ,Characterisation Of a Nafion film by optical fibre Fabry–Perot Interferometry for humidity sensing, *Sensors And Actuators*, B(196), 99–105.
- [6] H. K. Bal, Z. Brodzeli, N. M. Dragomir, S. F. Collins, and F. Sidiroglou, 2012, Uniformly thinned optical fibers produced via HF etching with spectral and microscopic verification, *APPLIED OPTICS*, 51(13), 2282-2287.
- [7]- A. Gaston, I. Lozano, F. Perez, F. Auza, J. Sevilla, 2003, " Evanescent wave optical fiber sensing (temperature, relative humidity and pH sensors)", *IEEE Sens. J.* 3 (6), 806–811.
- [8] C. Bariain, I.R. Matias, F.J. Arregui, M. Lopez-Amo, 2000, Optical fiber humidity sensor based on a tapered fiber coated with agarose gel, *Sens. Actuators*, B 69, 127–131.
- [9] J. Guo, Jia Bo, H. Tang, D. Zhao, P. Zhou, J. Wang, 2020, High sensitivity relative humidity sensor based on SMTF structure coated with gelatin, *Microw Opt Technol Lett*, 1–6.
- [10] A.P. Russell, K.S. Fletcher, 1985, Optical sensor for the determination of moisture, *Anal. Chim. Acta*, 170, 209–216.
- [11] S. Muto, O. Suzuki, T. Amano, M. Morisawa, 2003, A plastic optical fiber sensor for real-time humidity monitoring, *Meas. Sci. Technol*, 14, 746–750.
- [12] S. acikgoz, B. bilen, M. demir, Y.menceloglu, Y. skarlatos, G. aktas, and M. Naci 2008 , Use of Polyethylene Glycol Coatings for Optical Fibre Humidity Sensing, *OPTICAL REVIEW* Vol. 15, No. 2 84–90
- [13] Gerd Keiser, 2011, *Optical Fiber Communications*, 4th ed, New York McGraw-Hill. 654, 39-55
- [14] T. Watanabe, N. Ooba, Y. Hida, and M. Hikita, 1998, Influence of humidity on refractive index of polymers for optical waveguide and its temperature dependence, *APPLIED PHYSICS LETTERS VOLUME*, 72(13), 1533-1535.
- [15] J. Mathew, Y. Semenova, G. Rajan, P. Wang, G. Farrell, 2011. Improving the sensitivity of a humidity sensor based on fiber bend coated with a hygroscopic coating, *Optics and Laser Technology*, 43, 1301–1305.
- [16] Poonam D. Mahapure, S. A. Gangal, R. C. Aiyer, S. W. Gosavi, 2018, Optical humidity sensor based on in situ and ex situ synthesized nAg/0.1%PVP composite coated on self-supported PVP substrate *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 29(15), 12543-12552
- [17] A. Kumar , T.V.B. Subrahmanyam · A.D. Sharma · K. Thyagarajan · B.P. Pal · I.C. Goyal ,1984, *ELECTRONICS LETTERS* , 20(13), 534 – 535