مجلة الدراسات التربوية والعلمية - كلية التربية - الجامعة العراقية
العدد السابع والعشرون - المجلد التاسع - علوم الفيزياء - نيسان 2026 م
doi.org/10.52866/esj.2026.09.27.06

دراسة الخواص البصرية لأغشية Ag_2O-GO الرقيقة المحضرة بتقنية الليزر النبضي (PLD)

عبد الله حمد وكاع [1*] ، نديم خالد حسن [2]
1. قسم الفيزياء، كلية التربية للعلوم الصرفة، جامعة تكريت، العراق
*البحث مستل من رسالة ماجستير الباحث الأول
Ah230060pep@st.tu.edu.iq

مستخلص:

تم في هذا البحث تحضير ودراسة الخواص البصرية لأغشية رقيقة هجينة مكونة من أوكسيد الفضة (Ag_2O) وأوكسيد الغرافين (GO) باستخدام تقنية الترسيب بالليزر النبضي (PLD). أُجريت عملية التحضير بخلط المساحيق باستخدام الأمواج فوق الصوتية، ثم كبسها وتحويلها إلى هدف صلب للترسيب على ركائز زجاجية. تم فحص الأغشية الناتجة باستخدام مطياف UV-Vis ضمن مدى أطوال موجية من 300 إلى 1100 نانومتر. أظهرت النتائج أن الامتصاصية كانت عالية عند الأطوال الموجية القصيرة (<400 nm) ثم انخفضت تدريجيًا مع ازدياد الطول الموجي، في حين ازدادت النفاذية مع زيادة الطول الموجي، مما يعكس السلوك البصري النموذجي للمواد شبه الموصلة. كما أظهرت الدراسة أن زيادة طاقة الليزر وعدد النبضات أثناء الترسيب تساهم بانخفاض فجوة الطاقة البصرية.

الكلمات المفتاحية : Ag_2O-GO، PLD، أغشية رقيقة، خصائص بصرية.

Study of the optical properties of Ag_2O-GO thin films prepared by pulsed laser deposition (PLD) technique

Abdullah Hamad Wakaa[1*] , Nadim Khaled Hassan [2]
1. Department of Physics ،Collage of Education for Pure Science ، University of Tikrit ، Tikrit ،Iraq.
2. Department of Physics ،Collage of Education for Pure Science ، University of Tikrit ،Tikrit ،Iraq.
E-mail: Ah230060pep@st.tu.edu.iq

Abstract :

In this research, the optical properties of hybrid thin films composed of silver oxide (Ag_2O) and graphene oxide (GO) were prepared and investigated using the pulsed laser deposition (PLD) technique. The preparation process was carried out by mixing the powders using ultrasonic waves, then pressing them into a solid target for deposition onto glass substrates. The resulting films were examined using a UV-Vis spectrometer over the wavelength range of 300 to 1100 nm. The results showed that the absorbance was high at short wavelengths (<400 nm) and gradually decreased with increasing wavelength, while the transmittance increased with increasing wavelength, reflecting the typical optical behavior of semiconductor materials. The study also demonstrated that increasing the laser power and the number of pulses during deposition contributed to a decrease in the optical energy gap.

Key words: Ag_2O-GO, PLD, thin films, Optical properties.

1- المقدمة

شهدت العقود الأخيرة طفرة نوعية في مجال تطوير المواد النانوية وتطبيقاتها، حيث أصبحت المواد المهجنة ذات البنى النانوية محط اهتمام متزايد في الأوساط العلمية والصناعية، نظرًا لما تقدمه من خصائص فيزيائية وكيميائية فريدة تختلف جذريًا عن تلك التي تتمتع بها المواد التقليدية في حالتها السائبة [1-3]. ومن بين هذه المواد، يُعتبر أكسيد الفضة (Ag_2O) من الأكاسيد المعدنية المهمة، حيث يمتاز بخواص بصرية وكهربائية متميزة، مثل امتصاصيته العالية في نطاق الأشعة فوق البنفسجية والمرئية، وامتلاكه لفجوة طاقة مناسبة للتطبيقات البصرية والإلكترونية، الأمر الذي جعله مرشحًا فعالًا في تصنيع الخلايا الشمسية، والكواشف الضوئية، والمجسات [4-6].

إلى جانب ذلك، ظهر مؤخرًا أكسيد الغرافين (Graphene Oxide - GO) كمادة واعدة في مجال تقنيات النانو، نظرًا لامتلاكه بنية ثنائية الأبعاد ذات مساحة سطحية كبيرة، وشفافية ضوئية مرتفعة، وقابلية للتعديل الكيميائي، ما يجعله مناسبًا للتكامل مع مواد أخرى لتشكيل أغشية هجينة عالية الكفاءة [7-9]. وقد بيّنت العديد من الدراسات أن دمج GO مع الأكاسيد المعدنية يمكن أن يؤدي إلى تحسين الخواص البصرية والكهربائية والميكانيكية للأغشية الرقيقة، خصوصًا في مجال الامتصاصية الضوئية، وفجوة الطاقة، وانتقال الإلكترونات [10-12].

من الناحية التقنية، تُعد طريقة الترسيب بالليزر النبضي (Pulsed Laser Deposition - PLD) من أبرز تقنيات تحضير الأغشية الرقيقة متعددة المكونات، لما تمتاز به من دقة عالية في التحكم بسمك الغشاء وتركيبه البنيوي، إضافة إلى قدرتها على ترسيب مواد معقدة ومتعددة العناصر دون تغيير في بنيتها الكيميائية [13-14]. كما تسمح هذه التقنية بترسيب الأغشية تحت ظروف مهيأة (كدرجة حرارة السطح، ضغط الغازات، نوع الغاز المؤكسد) بما ينعكس مباشرة على الخصائص البصرية للغشاء الناتج [15-17].

وفي هذا الإطار، فإن دراسة الخواص البصرية لأغشية Ag_2O-GO المحضرة باستخدام PLD تُعد خطوة أساسية لفهم تأثير الدمج بين هاتين المادتين على الأداء البصري للأغشية، حيث يمكن أن تؤثر بنية GO وخصائص Ag_2O في تحسين الامتصاصية، وتعديل فجوة الطاقة، وزيادة الاستقرار الحراري والضوئي [18-20]. وتكمن أهمية هذا الدمج في إمكانية تصميم مواد هجينة ذات أداء محسن يمكن استخدامها في تطبيقات متقدمة مثل الخلايا الضوئية المرنة، والأجهزة الكهروضوئية، والأنظمة البصرية غير الخطية والخطية.

تهدف هذه الدراسة إلى تحضير أغشية رقيقة هجينة مكونة من Ag_2O وGO باستخدام تقنية PLD، ومن ثم دراسة خصائصها البصرية باستخدام أدوات تحليل دقيقة، مثل مطياف الأشعة فوق البنفسجية–المرئية (UV-Vis)، لحساب الامتصاصية، معامل الامتصاص، وفجوة الطاقة البصرية بطريقة Tauc.

2 - الجانب النظري

يمكن تعريف الامتصاصية على أنها النسبة بين شدة الإشعاع الذي يمتصه الغشاء (I_A) إلى شدة الإشعاع الساقط على نفس الغشاء (I_o) ، يرمز لها الرمز (A) ويعبر عنها بالعلاقة التالية :[7,6]

$$T= I_A/I_o \qquad (1)$$

حيث: A: الامتصاصية، I_A :شدة الاشعاع الممتص، I_o :شدة الاشعاع الساقط.

كما تُعرَّف النفاذية بأنها النسبة بين شدة الإشعاع الذي يمر عبر الغشاء (I) إلى شدة الإشعاع الساقط عليه (I_o)، ويرمز لها بالرمز (T) ويمكن التعبير عنها بالعلاقة التالية [9,8]:

$$T= I/I_o \qquad (2)$$

حيث: T: النفاذية، I:شدة الاشعاع النافذ، I_o: شدة الاشعاع الساقط.

تُعرف فجوة الطاقة بأنها الطاقة المطلوبة لنقل الإلكترونات من قمة حزمة التكافؤ إلى قعر حزمة التوصيل. هي المسافة الطاقة الموجودة بين حزمتي التكافؤ والتوصيل، وسُميت بالفجوة المحظورة أو الممنوعة لأنها منطقة شبه خالية من المستويات الطاقة. في أشباه الموصلات النقية، لا تستقر الإلكترونات في هذه الفجوة، بينما في أشباه الموصلات المشوبة، يمكن أن تتواجد فيها لفترة زمنية قصيرة جداً. وتُعتبر هذه الفجوة عاملاً مهماً في تحديد نوع المادة الصلبة، تعتبر فجوة الطاقة البصرية واحدة من أهم الثوابت البصرية المستخدمة في فيزياء أشباه الموصلات، حيث تُعتمد في تصنيع العديد من الأجهزة الإلكترونية مثل الخلايا الشمسية والكواشف والثنائيات الضوئية وغيرها. يتم اختيار مواد شبه موصلة تمتاز بفجوة طاقة ممنوعة تتناسب مع طاقة الفوتونات في نطاق الطيف المرئي والفوق بنفسجي وتحت الحمراء، وذلك لتحديد مقدار الفوتونات التي يتم نفاذها أو امتصاصها أو انعكاسها على الغشاء [10]:

$$\alpha h\nu = B_o\ (h\nu - E_g^{opt})^r \qquad (3)$$

حيث: B_o : ثابت يتناسب عكسيا مع عشوائية المادة، hν : طاقة الفوتون بوحدات (eV)، E_g^{opt} : فجوة الطاقة البصرية بوحدات (eV)، r: معامل اسي يأخذ القيم [2/ 3,2/ 1,2,3] اعتماداً على نوعية المادة ونوع الانتقال الالكتروني .

3 - طريقة العمل

3-1 تحضير العينات

نأخذ (2gm) من أوكسيد الفضة (Ag_2O) و (2gm) من أوكسيد الكرافين (GO) نمزجهما مع بعضهما البعض يصبح وزنهما بعد المزج (4gm) باستخدام ميزان حساس من نوع (Metller. A.K-160) ذي حساسية. (10^{-4}) بعدها نضيف محلول داي اثل ايتر (5mL) الى المزيج في أسطوانة زجاجية.

ثم نضع المسحوق في جهاز الالتراسونك لمدة نصف ساعة عند درجة حرارة (30 °C) يعمل الالتراسونك على رج المسحوق حتى يتجانس عن طريق الموجات الفوق الصوتية. في اليوم الثاني نخرج المسحوق من جهاز الالتراسونك نلاحظ تبخر محلول داي اثل ايتر نضع المسحوق في علبة زجاجية لمدة ساعة كاملة بعدها نجفف المسحوق بدرجة حرارة (60 °C) بواسطة مجفف ثم نخرج المادة الممزوجة (المسحوق) المكون من أوكسيد الفضة وأوكسيد الكرافين (Ag_2O + GO) .

بعد ذلك تم وضع المسحوق في قالب خاص مصنوع من مادة الفولاذ السبائكي يكون القطر الداخلي للقالب (1 cm) ، ليتم كبسه بمكبس هيدروليكي بقوة تعادل (5 ton) ولمدة (5 min) لنحصل على قرص بسُمك (0.5 cm) ونصف قطر (0.5 cm) ، حيث يتم كبس المسحوق من الأعلى بمكبس علوي وأخر من الأسفل في نفس الوقت فنحصل على عينة مكبوسة ومتماسكة الخصائص

الفيزيائية، إذ تعد عملية الكبس بوساطة القوالب من عمليات التشكيل ذات الجدوى الاقتصادية، وإن المكبس الهيدروليكي المستعمل في كبس قرص أوكسيد الزنك وأوكسيد الكوبلت أمريكي المنشأ مُصنع من قبل شركة (Across international).

تم استخدام قواعد زجاجية ذات أبعاد هندسية (mm) (75 × 25 × 1.2 من صنع ألماني (ISOLAB) لترسيب الأغشية الرقيقة عليها باستخدام تقنية الترسيب بالليزر النبضي (PLD) . يبين الشكل (1) عملية ترسيب الاغشية وكيفية تثبيت الشريحة الزجاجية أمام الهدف.

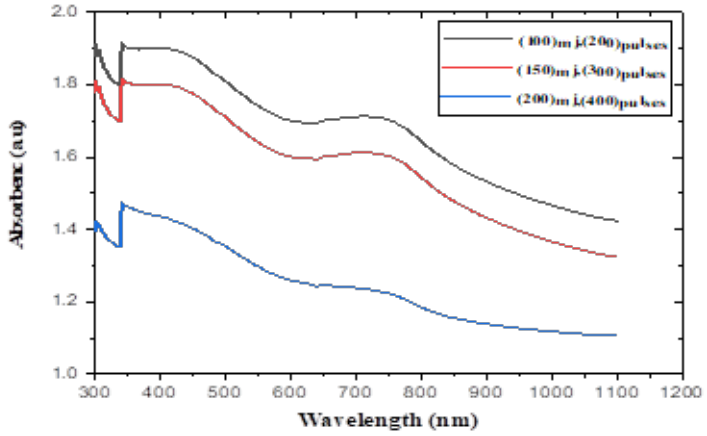
الشكل (1): يبين صورة لحجرة الترسيب و جهاز الليزر المستخدم في ترسيب الأغشية.

4- النتائج والمناقشة

4-1 الامتصاصية

تعتمد الامتصاصية بشكل عام على طاقة الفوتونات التي تسقط على المادة شبه الموصلة، بالإضافة إلى نوع المادة وتركيبها البلوري، وكذلك خشونة السطح ومواقع الشوائب داخل المادة. يوضح الشكل (2) طيف الامتصاصية كدالة لطول الموجة. من الرسم تبين ان جميع العينات تكون ذات امتصاصية عالية عند الاطوال الموجية القصيرة التي تكون اقل من nm(400) ، مما يشير ان المادة تكون ممتصة بشكل قوي في هذه المنطقة.

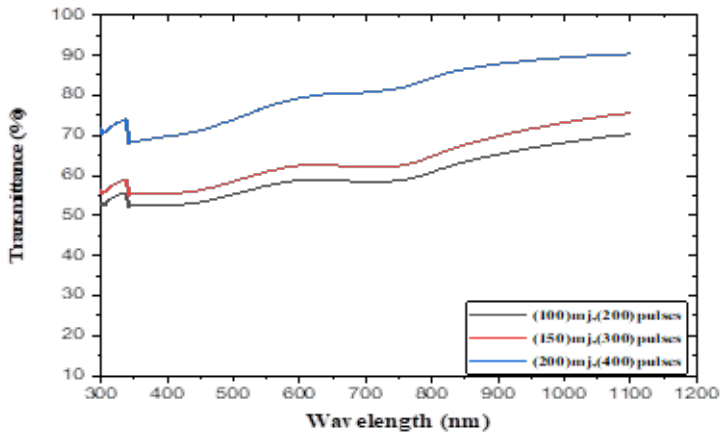
كما نلاحظ انخفاض الامتصاصية مع زيادة الطول الموجي، ويعتبر سلوك شائع لأن الكثير من المواد تكون ذات امتصاص اكثر في منطقة (U.V.) وأقل امتصاص في المنطقة المرئية وتحت الحمراء. كما نلاحظ من الرسم ان الامتصاصية تقل مع زيادة طاقة الليزر وعدد النبضات وهذا يؤدي الى زيادة انتظام الترتيب الداخلي للذرات وتقليل العيوب التركيبية أدت الى تقليل المستويات الموضعية ويؤدي هذا الى تقليل طاقة السطح والغشاء [4].



الشكل(2): يوضح تغيير امتصاصية المركب أوكسيد الفضة وأوكسيد الكرافين.

2-4 النفاذية

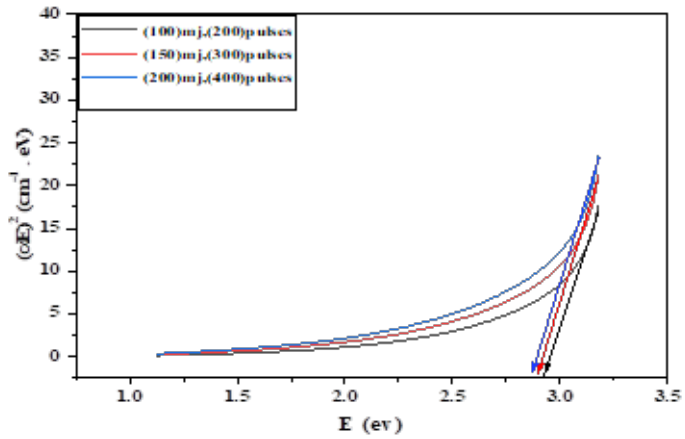
تمت دراسة طيف النفاذية الضوئية لأغشية المركب أوكسيد الفضة واكسيد الكرافين (Ag_2O-GO) الرقيقة المرسبة على الركائز الزجاجية. ضمن مدى الأطوال الموجية التي تتراوح بين 300- 1100 nm)، ويوضح الشكل (3) مخطط طيف النفاذية بالنسبة للطول الموجي ولطاقات وعدد نبضات مختلف، من الرسم تبين ان النفاذية تزداد مع زيادة الطول الموجي ، كما نلاحظ ان النفاذية تكون منخفضة في بداية الطيف للأطوال الموجية القصيرة التي تكون اقل من (400)nm ثم ترتفع وتستقر عند اطوال موجية اكبر . ويعتبر هذا سلوك طبيعي لان المواد عادة تكون ممتصة في منطقة الاشعة فوق البنفسجية (UV) ، وحيث تصبح اكثر شفافية في الاطوال الموجية الأكبر . كما نلاحظ من الرسم ان النفاذية تزداد مع زيادة طاقة الليزر وعدد النبضات وذلك لزيادة سمك الغشاء[14].



الشكل(3): يوضح تغيير نفاذية المركب أوكسيد الفضة وأوكسيد الكرافين.

4-3 فجوة الطاقة البصرية

ان فجوة الطاقة المحضورة تعتمد غالباً على توزيع وترتيب الذرات في الشبكة البلورية للأغشية الرقيقة والبنية البلورية لها أ والشكل (4) يوضح قيمة فجوة الطاقة لعينات من أوكسيد الفضة وأوكسيد الكرافين المُحضر على قواعد من الزجاج ويوضح فجوة الطاقة بين $(\alpha h\upsilon)^2$ ev للمحور العمودي و $(h\upsilon)$ ev على المحور الافقي حيث يشير السهم الخطي الى فجوة الطاقة المباشرة للأغشية الرقيقة حيث نلاحظ عند زيادة الطاقة وزيادة عدد النبضات يؤدي الى انخفاض في فجوة الطاقة البصرية ويعود السبب في ذلك الى زيادة التبلور و زيادة حجم الحبيبات للمادة وكذلك زيادة في العيوب البلورية وتبعاً لذلك تزداد المستويات الموضعية قرب حزمتي التكافؤ والتوصيل مما ادى الى انخفاض مقدار فجوة الطاقة [17].



الشكل(4): يوضح تغيير قيم فجوة الطاقة للمركب أوكسيد الفضة وأوكسيد الكرافين.

5- الاستنتاجات

أظهرت الدراسة أن الأغشية الرقيقة المحضّرة من مركب Ag_2O-GO باستخدام تقنية PLD تمتلك خصائص بصرية واعدة، حيث بينت القياسات أن هذه الأغشية تمتاز بامتصاصية عالية في منطقة الأشعة فوق البنفسجية وطول موجي أقل من 400 نانومتر، ما يشير إلى إمكانية استخدامها في أجهزة الكشف الضوئي، كما تبين أن النفاذية تزداد تدريجيًا مع زيادة الطول الموجي، وهو سلوك بصري تقليدي يؤكد شفافية الأغشية في النطاق المرئي وتحت الحمراء. لوحظ أيضًا أن زيادة طاقة الليزر وعدد النبضات تؤدي إلى انخفاض واضح في فجوة الطاقة البصرية، نتيجة تحسن البلورة وزيادة انتظام الترتيب الداخلي وتقليل العيوب التركيبية، مما يؤدي إلى ظهور مستويات طاقية موضعية تقلل من قيمة فجوة الطاقة. تؤكد هذه النتائج أن الخصائص البصرية لأغشية Ag_2O-GO يمكن التحكم بها بشكل فعال من خلال شروط الترسيب، مما يفتح المجال لاستخدام هذه الأغشية في تطبيقات ضوئية متعددة كالأجهزة الكهروضوئية والخلايا الشمسية.

المصادر

1. G. Cao and Y. Wang, Nanostructures and Nanomaterials: Synthesis, Properties and Applications, 2nd ed., World Scientific, 2011.
2. Cobos, M., De-La-Pinta, I., Quindós, G., Fernández, M. J., & Fernández, M. D. (2020). Graphene oxide–silver nanoparticle.
3. M. S. Dresselhaus et al., "Nanoscience opportunities in the energy arena," MRS Bulletin, vol. 33, no. 4, pp. 366–376, 2008.
4. Sherif, H. H. A., El Hotaby, W., Khalil, S. K. H., Hemdan, B. A., & Khalil, W. A. (2023). Preparation, characterization, and biological assessment of functionalized reduced graphene oxide–silver nanocomposite. Journal of Materials Research, 38(7), 1843-1857.
5. A. Kumar et al., "Optical and electrical properties of Ag_2O thin films," J. Alloys Compd., vol. 687, pp. 998–1004, 2016.
6. R. Afre et al., "Silver oxide thin films for optoelectronic applications," Mater. Sci. Semicond. Process., vol. 16, no. 2, pp. 319–325, 2013.
7. D. A. C. Brownson and C. E. Banks, "Graphene oxide electrochemistry," Electroanalysis, vol. 24, no. 11, pp. 202–210, 2012.
8. S. Pei and H.-M. Cheng, "The reduction of graphene oxide," Carbon, vol. 50, no. 9, pp. 3210–3228, 2012.
9. M. Acik and Y. J. Chabal, "A review on thermal reduction of graphene oxide," J. Mater. Sci. Res., vol. 1, no. 2, pp. 1–20, 2012.
10. J. Liu et al., "Graphene oxide-metal oxide hybrid materials: synthesis and applications," Prog. Mater. Sci., vol. 103, pp. 1–56, 2019.
11. M. Zhang et al., "Enhanced optical absorption in Ag_2O-GO thin films," J. Mater. Chem. C, vol. 5, no. 12, pp. 2995–3002, 2017.
12. K. Krishnamoorthy et al., "Graphene oxide and its composites for solar cell applications," Renew. Sust. Energy Rev., vol. 60, pp. 1015–1025, 2016.
13. D. B. Chrisey and G. K. Hubler, Pulsed Laser Deposition of Thin Films, Wiley, 1994.
14. Elias, Elsha M., Gomathy Meganathan, and Manikantan Pappuswamy. "Green Synthesis, Characterization, and Biological Applications of Silver Nanoparticles from Pachira glabra Leaf Extract." The Microbe (2025): 100413.
15.] Sajjad, Shamaila, et al. "GO/Ag2O composite nanostructure as an effective antibacterial agent." ChemistrySe-

lect 4.35 (2019): 10365-10371.

16. K. Sugioka and Y. Cheng, Ultrafast Laser Processing: From Micro- to Nanoscale, CRC Press, 2013.
17. A. Piqué et al., "Laser processing in organic electronics," Appl. Surf. Sci., vol. 252, pp. 5213–5219, 2006.
18. H. Li et al., "Optoelectronic properties of Ag_2O-GO nanocomposites," Opt. Mater., vol. 91, pp. 278–284, 2019.
19. Z. Wang et al., "Graphene-based hybrid nanomaterials for photodetectors," Adv. Funct. Mater., vol. 28, no. 12, 2018.
20. S. Kalita et al., "Graphene oxide thin films as interfacial layers in optoelectronic devices," ACS Appl. Mater. Interfaces, vol. 7, no. 17, pp. 9119–9128, 2015