مجلة الدراسات التربوية والعلمية - كلية التربية - الجامعة العراقية
العدد السادس والعشرون - المجلد الأول - علوم الفيزياء - أيلول 2025 م
doi.org/10.52866/esj.2025.01.26.10

دراسة تأثير طاقة الليزر على الخصائص البصرية لجسيمات اوكسيد المغنيسيوم النانوية المحضرة بطريقة الاستئصال بالليزر النبضي

مروة كريم ابراهيم * ، رشا حامد احمد
قسم الفيزياء، كلية التربية للعلوم الصرفة، جامعة تكريت، تكريت، العراق.
*البحث مستل من رسالة ماجستير الباحث الاول
mk230072pep@st.tu.edu.iq

مستخلص:

تم تحضير محاليل جسيمات نانوية من أوكسيد المغنيسيوم باستخدام طريقة الاستئصال بالليزر النبضي في السائل لهدف معدني صلب بتأثير طاقات ليزر مختلفة ، اظهرت الدراسة ان طاقة الليزر تؤثر بشكل ملحوظ على الخصائص البصرية للجسيمات النانوية التي تم تحضيرها ،فعند زيادة الطاقة من 720mj إلى 800mj لوحظ زيادة الامتصاصية حيث بلغت قيمتها حوالي 1.45 عند الطول الموجي 400nm وكذلك ارتفاع معامل الامتصاص وانخفاض النفاذية الى اقل من 20٪ وانخفاض مقدار فجوة الطاقة البصرية من 6.21ev إلى 5.32ev ، وتبين ايضاً انخفاض تدريجي في الانعكاسية من 10 – 12 ٪ وارتفاع معامل الخمود البصري الى حوالي 0.18 عند الطول الموجي 600nm .

الكلمات المفتاحية: خصائص البصرية، Nd:YAG ، PLAL، (MgO Nps).

A study of the effect of laser energy on the optical properties of magnesium oxide nanoparticles prepared by pulsed laser ablation.

Marwah Kareem Ibrahim * , Rasha Hamid Ahmed
Department of Physics ،Collage of Education for Pure Science،
University of Tikrit ،Tikrit ،Iraq.
E-mail: [1] mk230072pep@st.tu.edu.iq

ABSTRACT:

Magnesium oxide nanoparticle solutions were prepared using the pulsed laser ablation in liquid method of a solid metal target under the influence of different laser energies. The study showed that the laser energy significantly affects the optical properties of the prepared nanoparticles. When the energy was increased from 720 mJ to 800, an increase in the absorbance was observed, reaching a value of about 1.45 at a wavelength of 400 nm, as well as an increase in the absorption coefficient, a decrease in the transmittance to less than 20%, and a decrease in the optical energy gap from 6.21 to 532 eV. A gradual decrease in the reflectivity from 10-12 was also shown, and an increase in the optical extinction coefficient to about 0.18 at a wavelength of 600 nm was also observed.

Key words:، optical propartes ,Nd:YAG , PLAL, MgO (Nps)

1- المقدمة

تقدم تكنولوجيا النانو اليوم فرص محتملة لخلق مواد ومنتجات أفضل. كما أن تكنولوجيا النانو لديها القدرة على تحسين البيئة، سواء من خلال التطبيقات المباشرة للمواد النانوية للكشف عن الملوثات ومنعها وإزالتها، وكذلك بشكل غير مباشر باستخدام تكنولوجيا النانو لتصميم عمليات صناعية اقل تلوثا وإنشاء منتجات اقل ضرر بيئيا. يبلغ النانومتر واحد من مليار جزء من المتر nm 10^{-9} كذلك يكون مائة ألف مرة أصغر من قطر شعرة الإنسان، وايضا أصغر ألف مرة من خلية الدم الحمراء [1].

لا تنطبق القوانين الكلاسيكية للفيزياء والكيمياء بسهولة على هذا النطاق الصغير جدا لسببين. أولا، الخصائص الإلكترونية للجسيمات الصغيرة جدا التي يمكن أن تكون مختلفة جدا عن تلك الجسيمات الأكبر. ثانيا، نسبة مساحة السطح إلى الحجم تصبح أعلى بكثير، وبما أن ذرات السطح عموما الأكثر رد فعل، وخواص المواد تتغير بطرق غير متوقعة[2]. يتم تحديد الخصائص الفيزيائية والكيميائية للجسيمات النانوية المعدنية في الغالب من خلال المعلمات التالية: الحجم ، والشكل والتكوين[3،4]. ولذلك، فإن التحكم في هذه المعلمات مهم للغاية في التحكم في خصائص الجسيمات النانوية. وقد تم التركيز مؤخرا بشكل خاص على السيطرة على الشكل لأنه يسمح بضبط الخصائص البصرية بشكل أكبر مما يمكن تحقيقه خلاف ذلك. فقط في الآونة الأخيرة أصبح من الممكن التحكم في شكل الجسيمات النانوية المعدنية المحضرة في المحلول، مما أدى إلى تطوير العديد من الأساليب الاصطناعية في التحضير في المحاليل [5،6].

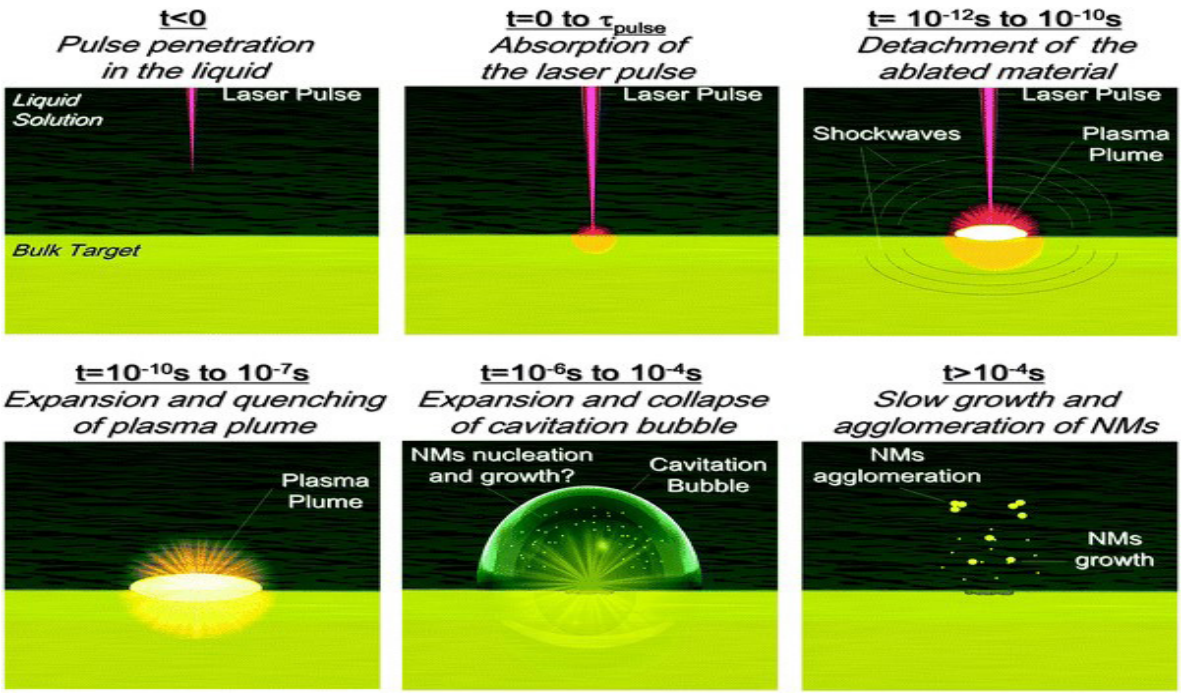
تمتاز الجسيمات النانوية بالوان مميزة عند تشتتها في وسط سائل بسبب ظاهرة الرنين البلازموني السطحي التي يمكن أن تعزى إلى التذبذب الجماعي لإلكترونات التوصيل التي يسببها المجال الكهرومغناطيسي. يختلف رنين البلازمون السطحي للجزيئات المعدنية ذات الحجم النانوي عن تلك الموجودة في المواد الاعتيادية (Bulk materials) ويعتمد بشدة على حجم وشكل ودرجة تجمع الجسيمات النانوية ، فضلا عن الخصائص العازلة للوسط المحيط [7،8].

في الاستئصال بالليزر النبضي في السوائل، يتم غمر الهدف الصلب في وسط سائل داخل وعاء زجاجي ويتم تسليط شعاع ليزري مركز على الهدف المراد تجزئته وبشكل عمودي، والذي يحتوي على الذرات والأيونات والجزيئات والعناقيد والجسيمات. المنتجات التفاعلية الوسيطة في عمود الاستئصال تتفاعل مع جزيئات السائل المحيطة بها، إنتاج هياكل نانوية تحتوي على ذرات من الهدف الأصلي والسائل، ويوفر الحبس الذي تم إنشاؤه بواسطة الطبقة السائلة جن با إلى جنب مع درجة الحرارة المرتفعة والضغط المرتفع الناجم عن الحزمة النبضية المركزة حالة مثالية لتشكيل مراحل الانبثاق ، وتفضل لتركيب البنى التحتية النانوية المختلفة [9].

ان عملية تفاعل الليزر مع الهدف مماثلة لكل من الاستئصال بالليزر في الفراغ والاستئصال في الوسط الصلب السائل. كلاهما ينتج البلازما ويخلقان حبسا قويا لأنواع الانبعاثات، مما يؤدي إلى إعادة تركيب إلكتروني فعال. يحدث الفرق عندما تبدأ البلازما في التوسع ، والذي يحدث بحرية في الفراغ ، ولكن يتم حصره من قبل أي

طبقة سائلة. السائل يؤخر التوسع في البلازما، مما يؤدي إلى ارتفاع ضغط البلازما ودرجة الحرارة، مما يسمح بتشكيل المواد النانوية. ميزة أخرى هي أن كلا من الهدف الصلب والسائل يتبخران، وبالتالي فإن المنتج يمكن أن يحتوي على ذرات من المواد المستهدفة والسائل[10].

ان التفاعل بين شعاع الليزر ذي الطاقة العالية مع سطح صلب يمكن أن تنتج عنه العديد من العمليات الفيزيائية. وتشمل هذه العمليات: امتصاص أشعة الليزر بواسطة هدف صلب، والتوصيل الحراري إلى الهدف، والتبخر، وانتشار المادة المستهدفة ، والتسخين السريع للهدف وتكوين البلازما يؤدي إلى تبخر السائل وتشكيل فقاعة مجوفة. ثم يحدث تنوي والحصول على جسيمات نانوية من المعدن ونموها في مراحل لاحقة كما هو موضح في الشكل (1).



الشكل(1): مخطط يبين خطوات تحضير الجسيمات النانوية من خلال عملية الاستئصال بالليزر النبضي [11].

2 - طريقة العمل

يبين هذا الجانب كيفية الحصول على جسيمات أوكسيد المغنيسيوم النانوية باستعمال تقنية الاستئصال بالليزر النبضي في السوائل، حيث تم استخدام هدف MgO صلب عالي النقاوة (≤ 99.9٪)، والذي تم غمره في الماء المقطر (Distilled Water) (Dw). حيث تتكون المنظومة من مصدر ليزر (Q-switched Nd: YAG) ذي منشأ صيني من شركة (HUAFEI) بالطولين الموجيين (532 nm ,1064 nm) مع اقصى طاقة (1000 mJ) لكل نبضة وزمن النبضة (9 ns) ومعدل التكرار (6 Hz) وقطر الحزمة الفعالة هو (2 mm) التي تستخدم بالاستئصال الليزري والعدسة المستخدمة تكون ذات بعد بؤري (20 cm) لتحقيق تدفق ليزري عالي. ويوضح الجدول (1) خصائص الجهاز المستخدم.

الجدول (1): معلمات الليزر المستخدم.

الخاصية	القيمة
مدة النبض	ns 9
معدل التكرار	Hz 6
طاقة الليزر	500mJ-1000mJ
الوضع العرضي	TEM00
نوع الليزر	Q-switched Nd:YAG
الطول الموجي	532nm -1064nm

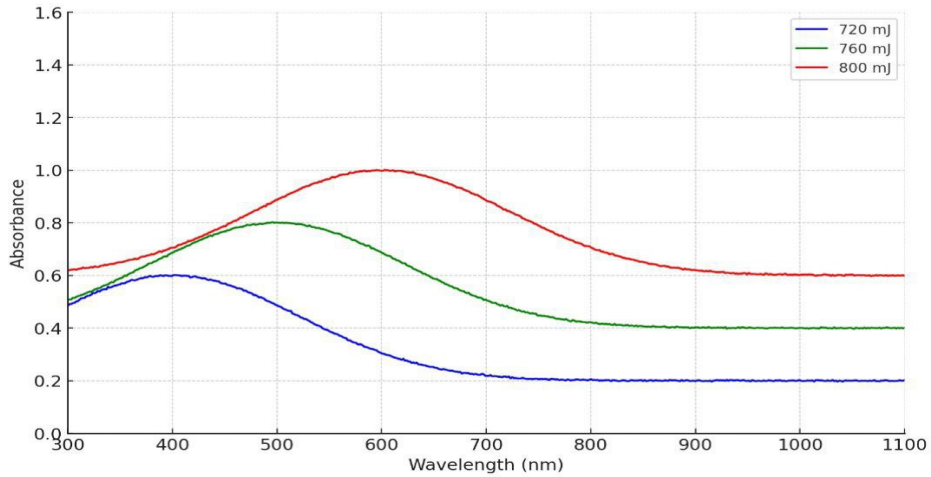
حيث تم قصف الهدف بواسطة شعاع ليزر في طاقات مختلفة هي (760،800،7200)mj وبطول موجي 1064 nm مع عدد نبضات 200 نبضة وبمعدل تكرار 6 Hz. إذ تغير لون الماء بعد عملية الاستئصال وهذا دلالة على تكون الجسيمات النانوية.

تم وضع المحاليل المحضرة في خلية من الكوارتز سمكها 1cm وبدرجة حرارة الغرفة ويشير تغير لون المحلول الغروي للمواد المستخدمة عن تولد جسيمات نانوية. تم قياس اطياف الامتصاص لمحاليل الجسيمات النانوية بواسطة مقياس الطيف الضوئي للأشعة فوق البنفسجية – المرئية UV-Vis-ible ضمن مدى الاطوال الموجية 1100 nm- 300 nm وذلك باستخدام جهاز (UVVisible 1800- double beam spectrophotometer) المصنع من قبل شركة Shimadzu, Japanes .

3 - 1 النتائج والمناقشة

3 – 1 الامتصاصية البصرية

الشكل (2) يوضح طيف الامتصاصية لجسيمات أوكسيد المغيسيوم النانوية (MgO Nps)، إذ تشير النتائج التجريبية إلى أن الامتصاصية البصرية (MgO Nps) تزداد بوضوح مع ارتفاع طاقة الليزر المستخدم أثناء عملية التحضير. وهذا السلوك يعكس التأثيرات العميقة التي تُحدثها طاقة الليزر على البنية البلورية والخصائص الإلكترونية للمادة. فعند تعريض المادة المستخدمة إلى طاقات ليزر عالية، زادت قمم الامتصاص بشكل كبير مع زيادة الطاقة وهذا متعلق بتركيز جسيمات النانو في المحلول [12].

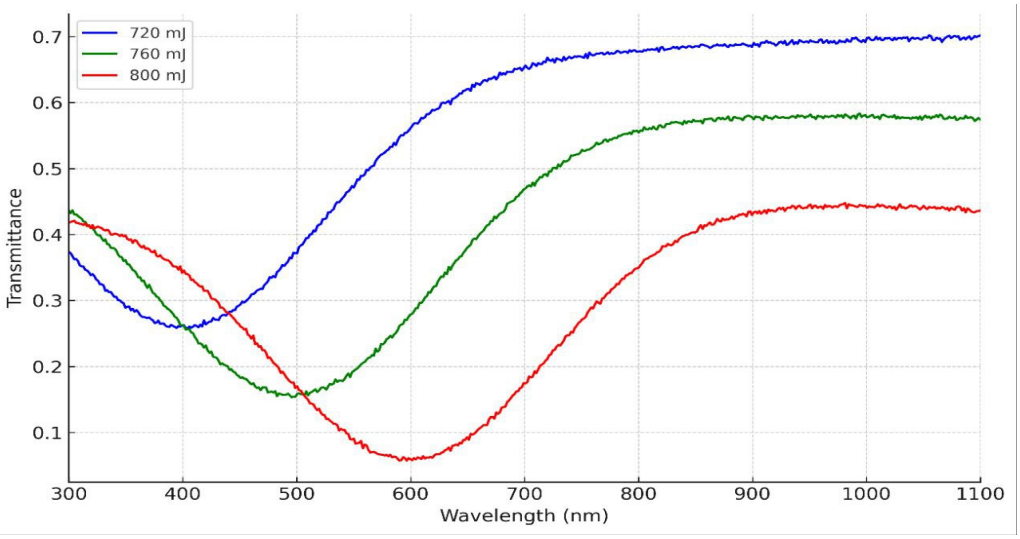


الشكل (2): طيف الامتصاصية لجسيمات أوكسيد المغيسيوم النانوية (MgO Nps).

3-2 النفاذية

الشكل (3) يوضح طيف النفاذية لجسيمات المغيسيوم النانوية (MgO Nps)، حيث تُظهر النتائج التجريبية أن النفاذية البصرية لجسيمات المغيسيوم النانوية (MgO Nps)، تنخفض بشكل تدريجي مع زيادة طاقة الليزر المستخدمة أثناء التحضير. ويمكن تفسير هذا السلوك من خلال فهم العلاقة المتبادلة بين الامتصاصية، الانعكاسية، والنفاذية. فبما أن النفاذية هي الكمية المتبقية من الضوء بعد أن يتم امتصاص جزء منه وانعكاس الجزء الآخر، فإن أي زيادة في الامتصاصية – كما لوحظ عند زيادة طاقة الليزر – ستؤدي بطبيعة الحال إلى انخفاض في النفاذية [13].

بناءً على ما سبق، فإن انخفاض النفاذية مع زيادة طاقة الليزر يُعد نتيجة منطقية ومترابطة مع ارتفاع الامتصاصية، ويعكس تغيرًا واضحًا في زيادة تركيز الجسيمات النانوية في المحلول.

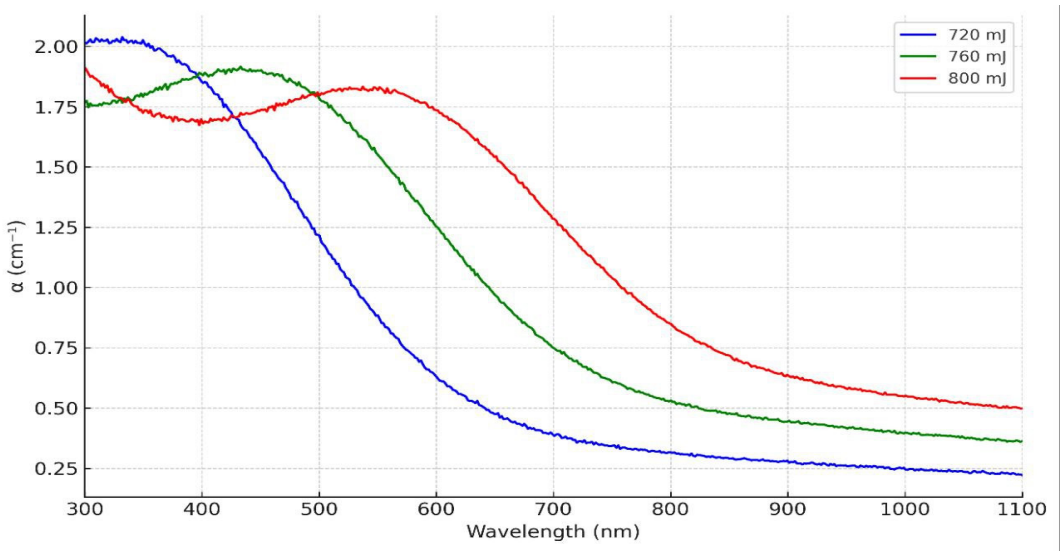


الشكل (3): طيف النفاذية لجسيمات أوكسيد المغيسيوم النانوية (MgO Nps).

3-3 معامل الامتصاص

يُعد معامل الامتصاص (α) أحد المعايير الأساسية التي تعبّر عن قدرة المادة على امتصاص الضوء الداخل إليها، ويعتمد بشكل مباشر على الامتصاصية وطاقة الفوتونات. تُظهر النتائج أن معامل الامتصاص يزداد بشكل ملحوظ مع ارتفاع طاقة الليزر المستخدمة لجسيمات المغيسيوم النانوية (MgO Nps)، وكما موضح بالشكل (4) ، ويمكن تفسير هذا السلوك من خلال مجموعة من التغيرات البنيوية والبصرية التي تُحدثها طاقة الليزر العالية [14].

من ناحية أخرى، فإن معامل الامتصاص مرتبط رياضيًا بكمية الطاقة الممتصة وطول المسار البصري داخل المادة، فكلما زادت قدرة المادة على امتصاص الضوء عبر زيادة تركيز الجسيمات النانوية، ارتفع معامل الامتصاص. وبما أن طاقة الليزر العالية تُعدّل من بنية الجسيمات وتزيد من كثافتها أو تغير من طبيعتها البصرية، فإن التغير في بنية المادة يعزز من هذا المسار التفاعلي، ويزيد من α .

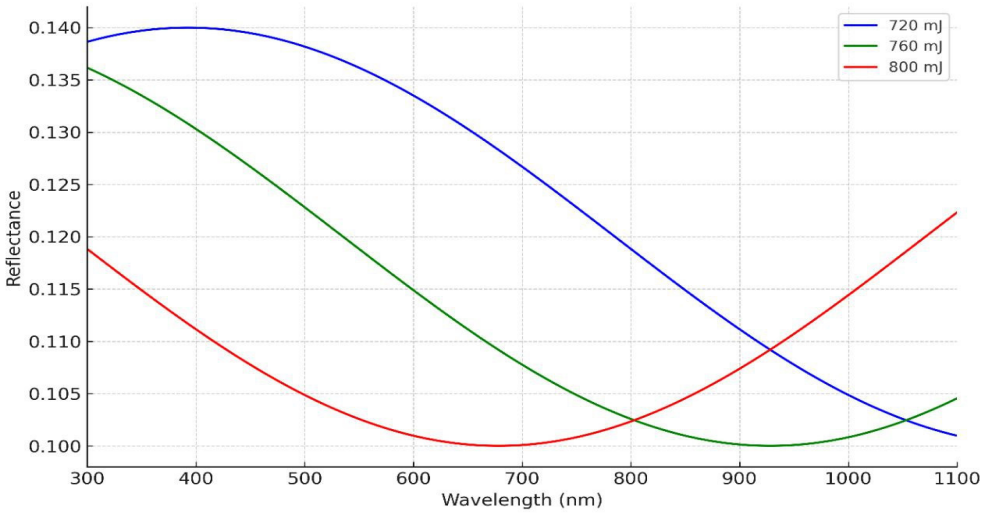


الشكل (4): معامل الامتصاص لجسيمات المغيسيوم النانوية (MgO Nps).

3-4 الانعكاسية

الشكل (5) يوضح طيف الانعكاسية حيث تُظهر القياسات أن الانعكاسية البصرية لجسيمات أوكسيد المغيسيوم النانوية (MgO Nps)، تتناقص تدريجيًا مع زيادة طاقة الليزر المستخدمة أثناء التحضير. ويُعد هذا السلوك نتيجة مباشرة لزيادة تركيز الجسيمات النانوية بسبب زيادة الفرق بين معامل الانكسار للمادة والوسط المحيط، فتزداد الانعكاسية [15].

علاوة على ذلك، فإن ازدياد الامتصاصية – كما ثبت سابقًا – يُساهم أيضًا في تقليل الانعكاسية، حيث أن كمية الضوء الممتصة داخل المحلول تصبح أكبر، مما يترك كمية أقل للانعكاس عند السطح. وبالتالي، فإن العلاقة بين الانعكاسية والامتصاصية علاقة عكسية جزئيًا، وتُفسر جزءًا من السلوك الملاحظ.

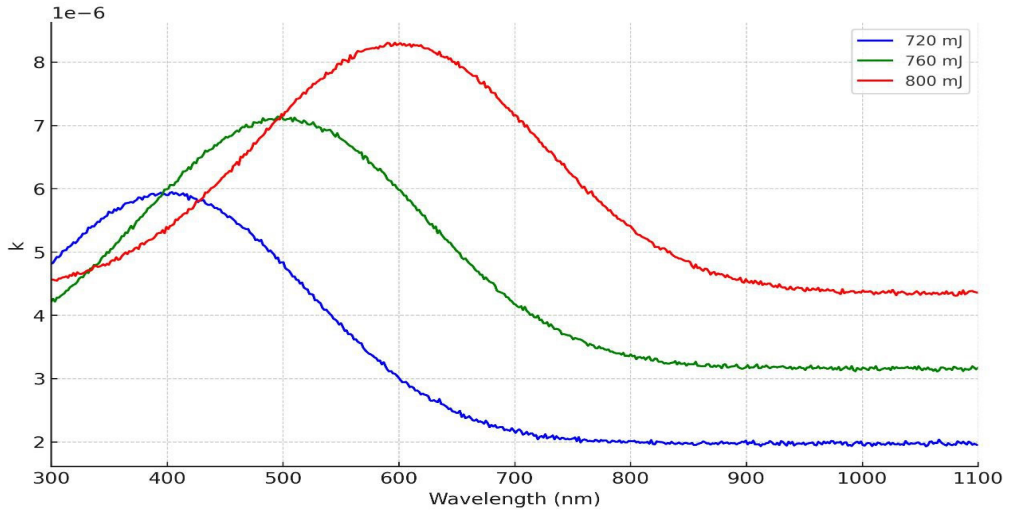


الشكل (5): طيف الانعكاسية لجسيمات أوكسيد المغيسيوم النانوية (MgO Nps).

3-5 معامل الخمود K

معامل الخمود البصري يُمثل جزءًا من المعامل الانكساري المركب للمادة، ويُعبر عن قدرة المادة على امتصاص الطاقة الضوئية الداخلة إليها أثناء انتقالها داخل الوسط. ومن هذا يتضح أن أي زيادة في معامل الامتصاص أو الطول الموجي تؤدي إلى زيادة مقابلة في قيمة معامل الخمود k وكما يوضح الشكل (6) عند تعريض جسيمات أوكسيد المغنيسيوم النانوية (MgO Nps). إلى طاقات ليزر متزايدة [16]،

بما أن يمثل كمية الطاقة المفقودة نتيجة الامتصاص داخل المادة، فإن ازدياده يعكس بوضوح أن الضوء الداخل إلى المحلول يفقد جزءًا أكبر من طاقته خلال الانتقال عبره، وهو ما تم رصده تجريبيًا من خلال انخفاض النفاذية وزيادة الامتصاصية.



الشكل (6): طيف معامل الخمود لجسيمات أوكسيد المغنيسيوم النانوية (MgO Nps).

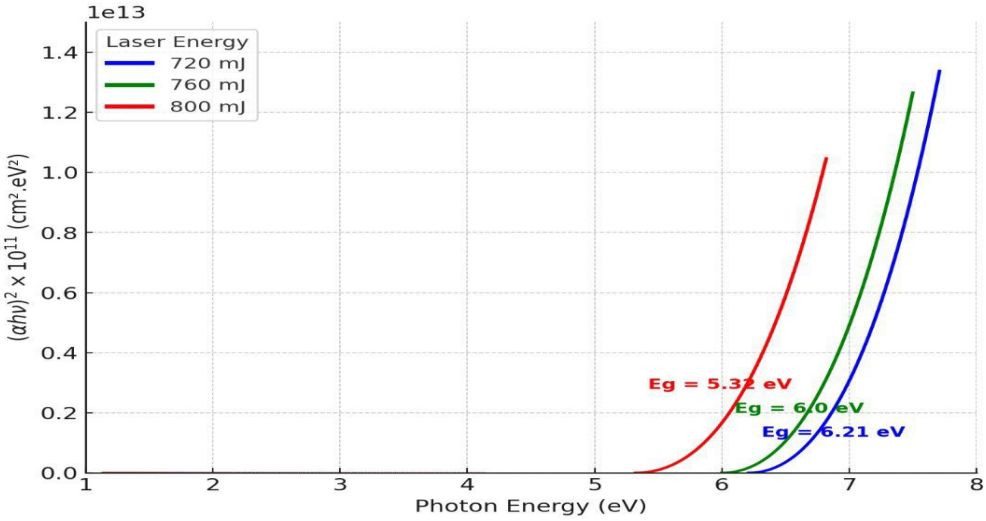
3-5 فجوة الطاقة البصرية

يوضح الشكل (7) فجوة الطاقة البصرية لجسيمات المغنيسيوم النانوية (MgO Nps)، حيث أظهرت نتائج هذا البحث أن فجوة الطاقة البصرية (Eg) لجسيمات المغنيسيوم النانوية (MgO Nps). تتناقص تدريجيًا مع زيادة طاقة الليزر المستخدم أثناء عملية التحضير. وقد تم تقدير قيم فجوة الطاقة باستخدام طريقة Tauc،

يمكن تفسير هذا الانخفاض في فجوة الطاقة بناءً على مجموعة من التأثيرات الفيزيائية التي تُحدثها طاقة الليزر على بنية المادة. عند زيادة طاقة الليزر، ترتفع درجة إثارة الذرات والجزيئات داخل المحلول [17].

من وجهة نظر بصرية، فإن تقليص فجوة الطاقة يعكس قدرة المادة على امتصاص فوتونات ذات طاقات أقل، وهذا ما تم تأكيده أيضًا من خلال الزيادة في الامتصاصية في الأطوال الموجية الأطول.

بالتالي، فإن الانخفاض المنتظم في فجوة الطاقة من 6.21 eV إلى 5.32 eV عند الانتقال من طاقة ليزر 720 mJ إلى 800 mJ يُعد مؤشرًا دقيقًا على التغير في التركيب الإلكتروني للمادة. ويُعتبر هذا التأثير ذا أهمية كبيرة في التطبيقات التي تتطلب مواد ذات فجوة طاقة مضبوطة مثل الخلايا الشمسية، وأجهزة الاستشعار البصرية، والعوازل.



الشكل (7): فجوة الطاقة البصرية لجسيمات أوكسيد المغنيسيوم النانوية (MgO Nps).

4 - الاستنتاجات

نستنتج من هذه الدراسة أن الليزر اداة فعالة في ضبط الخواص البصرية للجسيمات النانوية إذ تم الحصول على خصائص بصرية افضل ، إذ ازدادت الامتصاصية وازداد معامل الامتصاص ، وانخفض مقدار النفاذية ، ونقصان في فجوة الطاقة وانخفاض تدريجي في مقدار الانعكاسية ، وارتفاع في معامل الخمود البصري .

المصادر

[1] William H. Benson. and Charles M. Auer., Environmental production, United St [12] ate 100B-07001 (2007).

[2] Rathjen D, L. Read, P. Binks, R.Clark, E. Harvey, B. Innes, C Jagadish, M. Lu, T. Turney, Annual Report, Australia's Research Council. (2009).

[3] Logunov, S.L.; Ahmadi, T.S.; El-Sayed, M.A.; Khoury, J.T.; Whetten, R.L. J. Phys. Chem. B. 101, 19, 3713–3719 (1997).

[4] Burda, C.; Chen, X.; Narayanan, R.; El-Sayed, M.A. Chem. Rev. 105, 4, 1025–1102, (2005).

[5] Bratescu, M.A.; Cho, S.-P.; Takai, O.; Saito, N. J. Phys. Chem. C, 115, 24569–24576, (2011).

[6] Wang, F.; Tang, R.; Yu, H.; Gibbons, P.C.; Buhro, W.E. Chem. Mater. 20, 3656–.)8002(,2663

[7] Bohren, C. F. and Huffman D. R. "Absorption and Scattering of Light by Small Particles" 1st Ed. Wiley Company. New York (1983).

[8] Klabunde, K. J., a book published by Wiley-Interscience: New York, 2001.

[9] Yan Zhao, a Shuanghao Li, Yong Zeng, and Yijian Jiang, AIP Publishing, APL Materials **3**, 086103, (2015).

[10] Abdulrahman K. A. Ph.D. Thesis. College of Science, University of Technology, Iraq. (2010).

[11] Wang J B, Zhang C Y, Zhong X L, Yang G W, Chem. Phys. Lett., 361, 86, (2002).

[12] S. J. Clark et al., "Electronic and optical properties of MgO nanoparticles: Size effects and quantum confinement," Phys. Chem. Chem. Phys., vol. 23, no. 36, pp. 20465–20472, 2021, doi: 10.1039/D1CP02683F.

[13] R. G. Gordon et al., "Optical properties of magnesium oxide nanostructures," ACS Nano, vol. 5, no. 3, pp. 1443–1452, 2011, doi: 10.1021/nn200062d.

[14] R. G. Egdell et al., "Size-dependent optical absorption of magnesium oxide nanoparticles," Phys. Chem. Chem. Phys., vol. 17, no. 3, pp. 1792–1801, 2015, doi: 10.1039/C4CP03442B.

[15] A. G. Shepelev et al., "Optical reflectivity and band gap modifications of MgO nanoparticles synthesized via laser ablation," Solid State Phenomena, vol. 307, pp. 273–278, 2020, doi: 10.4028/www.scientific.net/SSP.307.273.

[16] M. M. Rashad and M. R. Mohamed, "Optical absorbance and extinction coefficient behavior of MgO nanoparticles as a function of wavelength," Int. J. Met., vol. 8, pp. 147–155, 2014. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/figure/Variation-of-absorbance-and-extinction-coefficient-of-MgO-nanoparticles-as-a-function_fig6_275069981

[17] K. R. Gunasekar et al., "Estimation of optical band gap of MgO thin films using Tauc method," AIP Conf. Proc., vol. 1391, no. 1, pp. 596–598, 2011, doi: 10.1063/1.3663137.