



دراسة الخواص التركيبية والبصرية لجسيمات النحاس النانوية المحضرة بطريقة الاستئصال بالليزر النبضي  
في السائل ودراسة تأثيرها على كفاءة الخلايا الشمسية

سمير محمود احمد

نور غانم عبد

قسم الفيزياء/ كلية العلوم/ جامعة الموصل/ نينوى

ذوالفقار علي زكر

قسم الليزر والاطياف/ مركز الليزر والفوتونات/ جامعة الحمدانية/ حمدانية/ نينوى

p-ISSN: 1608-9391

e-ISSN: 2664-2786

**Article information**

Received: 15/12/2024

Revised: 13/2/2025

Accepted: 23/2/2025

DOI:

10.33899/rjs.2025.187764

corresponding author:

نور غانم عبد

[Nourghanem305@gmail.com](mailto:Nourghanem305@gmail.com)

**المخلص**

نظرا لأهمية الجسيمات النانوية بسبب خصائصها الفريدة الناتجة عن صغر حجمها ونسبة مساحة السطح الى الحجم الكبيرة، تم في هذه الدراسة تحضير جسيمات النحاس النانوية عن طريق الاستئصال بالليزر النبضي في نوعين من السوائل (الماء منزوع الايونات، الاسيتون) باستخدام ليزر النيديوم ياك Nd-YAG ذي الطول الموجي 532 nm وبطاقات ليزر (400mJ,1000mJ) وبمعدل تكرار 1Hz وعدد نبضات (500, 700) pulse، وزمن نبضة 6ns. تم دراسة تأثير طاقة الليزر وعدد النبضات ونوع المحلول على الخصائص التركيبية والبصرية للجسيمات النانوية المتولدة باستخدام الاستئصال بالليزر النبضي في السائل. أظهرت نتائج فحص المجهر الالكتروني النافذ TEM ان الجسيمات النانوية المنتجة كان متوسط الحجم (23.8nm) بالنسبة للطاقة الأقل اما عند الطاقة الاعلى فكان (19.7nm). أظهرت القياسات البصرية (UV-Vis) زيادة تركيز المادة نتيجة زيادة شدة طيف الامتصاصية مع زيادة طاقة الليزر وعدد النبضات وذلك بسبب زيادة عدد الجسيمات المستأصلة، أدت زيادة طاقة الليزر الى تناقص النفاذية وهذا بدوره يؤدي الى زيادة الامتصاصية. أظهر نتائج فحص اللعان الضوئي (PL) لجسيمات النحاس فكانت شدة اللعان الضوئي لجسيمات النحاس عند الطاقة الأقل كانت الشدة 96a.u بطول موجي 433.9nm مما يعني مستوى عيوب بلورية اعلى مما يزيد من الشدة في حين عند الطاقة الأعلى الشدة كانت 27.07a.u بطول موجي 418nm مما يعني مستوى عيوب اقل والمادة أصبحت أكثر انتظاما. أخيرا تم اختيار جسيمات النحاس النانوية بطاقة ليزر 400mJ وبعده نبضات 500pulse والمحضرة بالماء منزوع الايونات لترسيبها على خلايا السليكون الشمسية، باستخدام تقنية صب القطرة وأظهرت النتائج تحسن في كفاءة الخلية الشمسية بنسبة 0.3%.

**الكلمات الدالة:** الاستئصال بالليزر، جسيمات النحاس النانوية، خلايا شمسية، رنين البلازمون.

### المقدمة

يعد النحاس وأكاسيده من أكثر المركبات دراسة بين المعادن الانتقالية بسبب خصائصها الفيزيائية الفريدة، بما في ذلك الخصائص البصرية، الكهربائية، الحرارية، والمغناطيسية (Baloach *et al.*, 2016). تلقت هياكل أكسيد النحاس النانوية اهتمامًا كبيرًا من المجتمع العلمي لمجموعة واسعة من التطبيقات، بما في ذلك الاستخدامات في مضادات الميكروبات (Zhang *et al.*, 2014)، والمستشعرات الكيميائية والبيولوجية (Zhang *et al.*, 2015)، والبصريات الإلكترونية (Akgul *et al.*, 2014)، والأجهزة الفوتونية والإلكترونية (Morales *et al.*, 2005). تمتلك هياكل أكسيد النحاس النانوية خصائص مرغوبة مثل نسب السطح إلى الحجم العالية، والفعالية من حيث التكلفة (Zhang *et al.*, 2014). قد يؤثر الشكل البلوري لأكسيد النحاس في أبعاد النانو بشكل كبير على الخصائص التحفيزية والبصرية والكهربائية وقد يفعل ذلك بتكلفة منخفضة (Li *et al.*, 2014). تُظهر هياكل أكسيد النحاس النانوية فجوة نطاق ضيقة (1.2-1.6 إلكترون فولت) واستقرار كيميائي جيد (Serhan *et al.*, 2019). تم الكشف عن طرق مختلفة لتحضير المواد النانوية كالترسيب الكيميائي (الإلكتروليتي) (Electrochemical Deposition)، الترسيب بالفراغ (Vacuum Deposition) (Gohil *et al.*, 2007)، الترسيب البخاري بالطريقة الكيميائية (Chemical Vapor Deposition) (Chang *et al.*, 2019)، وتقنية sol-gel (Bhargava *et al.*, 1994)، الترسيب الكهربائي (Electrical Deposition) (Dikusar *et al.*, 2009) والترسيب بالليزر النبضي (Pulsed Laser Deposition) بالإضافة إلى الاستئصال بالليزر النبضي في السوائل (Pulsed Laser Ablation in Liquids) (Sharad *et al.*, 2015). إن الطرق الفيزيائية الأكثر كفاءة لتصنيع البنية النانوية هي الاستئصال بالليزر وهو مثال نموذجي للنهج من أعلى إلى أسفل في تصنيع الجسيمات النانوية (Pendleton, 1981)، حيث إن طريقة الاستئصال بالليزر في السوائل (PLAL) فتحت آفاق جديدة وفريدة من نوعها لتصنيع التراكيب النانوية بالمقارنة مع الطرق الفيزيائية التقليدية حيث إن هذه الطريقة تعد سريعة وبسيطة وطريقة صديقة للبيئة لا تنتج مخلفات كيميائية ضارة خاصة عند استخدام الماء كسائل. إذ يمكن تحضير الدقائق النانوية المعدنية عن طريق الاستئصال بالليزر (Nguyen *et al.*, 2014)، تمتلك طريقة الاستئصال بالليزر النبضي في السوائل خاصية التحكم في شكل وحجم الجسيمات النانوية (Nanoparticles) عن طريق ضبط معاملات الليزر مثل: الطول الموجي، نوع مادة المذيب، طاقة الليزر، نوع الليزر وعدد نبضات الليزر (Yang, 2012). حضر (Elfaham *et al.*, 2021) جزيئات  $\text{Cu}_2\text{O}$  النانوية باستخدام الاستئصال بالليزر النبضي في الأوساط السائلة للتطبيقات الإلكترونية الضوئية. أظهرت النتائج إلى أنه مع زيادة معدل تكرار الليزر النبضي يزداد حجم الجسيمات أيضًا. درس (Goncharova *et al.*, 2019) تكوين جزيئات النحاس/أكسيد النحاس النانوية باستخدام الاستئصال بالليزر النبضي في السائل (PLAL). تضمنت الدراسة استخدام الكحول الإيثيلي والماء المقطر كوسائط سائلة مع إضافة تراكيز منخفضة من  $\text{H}_2\text{O}_2$  و  $\text{NaOH}$  للاستئصال لمراقبة تأثيرها على تطور الجسيمات النانوية. نظرًا لتوجه العالم نحو الاستدامة والطاقة النظيفة والحفاظ على البيئة أصبحت لهذه المواضيع أهمية بالغة وتولت العديد من الأبحاث في هذا المجال للمحاولة في الحصول على مواد صديقة للبيئة تساعد في الحفاظ عليها. بهذا الصدد نبحت في دراستنا هذه عن تحضير الجسيمات النانوية بطريقة نظيفة وتطبيق هذه الجسيمات على الخلايا الشمسية لتحسين كفاءتها، توفر الجسيمات النانوية المنتجة باستخدام تقنية الاستئصال بالليزر النبضي في السائل إمكانات إضافية لتحسين أداء الخلايا الشمسية. حيث تسهم هذه الجسيمات في تعزيز كفاءة نقل الشحنات داخل الخلايا، وتقليل فقدان الطاقة الناتج عن التشتت وإعادة الاتحاد. وعليه، فإن الجمع بين التعليم التطبيقي واستخدام التقنيات النانوية يمكن أن يشكل نهجًا تكامليًا لتحسين كفاءة الأنظمة الكهروضوئية وتحقيق أهداف الاستدامة (Al-Greer *et al.*, 2024). في مجال تحسين كفاءة الخلايا الشمسية، تلعب تقنيات معالجة السطح واستخدام المواد المتقدمة دورًا جوهريًا. وفقًا لدراسة (Ahmad *et al.*, 2017)، فإن تبني عمليات منخفضة التكلفة لتحسين امتصاص الضوء ومعالجة السطح يساهم بشكل كبير في تعزيز أداء الخلايا الشمسية. من هذا المنطلق، يمكن تحقيق تحسينات إضافية من خلال ترسيب جسيمات نانوية مثل الفضة والنحاس على أسطح الخلايا الشمسية، مما يؤدي إلى زيادة

الامتصاصية وتقليل الانعكاسية (Hussein and Ahmad, 2024) علاوة على ذلك، تعمل الجسيمات النانوية على تعزيز التوصيل الكهربائي داخل المواد شبه الموصلة، مما يعزز كفاءة نقل الإلكترونات في الخلية الشمسية (Kumar *et al.*, 2015). كما أن تقليل مقاومة المواد يساهم في تحسين التوصيل الكهربائي (Serkis *et al.*, 2021)، حيث تلعب الجسيمات النانوية دورًا مماثلًا من خلال تقليل فقدان الطاقة وتحسين نقل الشحنات بكفاءة. يمكن ان تساعد الجسيمات النانوية في تحسين نقل الشحنات بين طبقات الخلايا الشمسية مما يقلل من الخسائر ويحسن الأداء العام. حيث أظهرت دراسة حديثة تحسين كفاءة خلايا ZnO/Si الشمسية من 2.01% إلى 4.57% باستخدام أغشية ZnO الرقيقة المُعالَجة بالصوديوم والمعالجة الحرارية، ويرجع ذلك إلى تحسين خصائص التوصيل الكهربائي وتقليل المقاومة السطحية، مما يساهم في تعزيز كفاءة نقل الشحنات وتقليل فقدان الطاقة داخل الخلية، بالمقارنة تقدم الجسيمات النانوية المنتجة بتقنية الاستئصال بالليزر النبضي في السائل ميزة إضافية تتمثل في تحسين ديناميكيات نقل الشحنات، من خلال خلق مسارات شحن موصلة وفعالة. حيث تعمل هذه الجسيمات على تقليل فقدان الطاقة الناتج عن التشتت أو إعادة الاتحاد، مما يجعلها بديلاً واعدًا لتقنيات تحسين الخلايا الشمسية التقليدية مثل استخدام أغشية Zn (Serkis and Abd Alqader, 2022). في هذه البحث حضرت جسيمات النحاس النانوية عن طريق الاستئصال بالليزر النبضي في السائل (PLAL)، اذ تم اجراء الاستئصال في الماء منزوع الأيونات (DIW) وفي الاسيتون. باستخدام ليزر النيديوم ياك Nd-YAG ذي الطول الموجي 532nm وبمعدل تكرار 1Hz وبطاقات ليزر وعدد نبضات مختلفة. تم دراسة تأثير طاقة الليزر وعدد النبضات ونوع المحلول على الخصائص التركيبية والبصرية للجسيمات النانوية

### المواد وطريقة العمل

تم تحضير جسيمات النحاس النانوية بطريقة الاستئصال بالليزر النبضي في السائل، باستخدام ليزر Nd-YAG الذي يعمل بطول موجي 532nm وبزمن نبضة 6ns، اذ تم وضع النحاس في أسفل حاوية زجاجية وتم إضافة 7ml من السائل (ماء منزوع الأيونات، اسيتون)، تم تسليط شعاع الليزر على الهدف بطاقة (400 mJ 1000mJ)، بمعدل تكرار 1Hz، وبعدد نبضات، (500pulse، 700pulse) وبمسافة 6cm بين الهدف وبلورة الليزر، تم ترسيب المحلول الغروي لجسيمات النحاس النانوية على سطح خلية السليكون الشمسية بعد إزالة الطبقة المضادة للانعكاس باستخدام محلول HF، وتم غسل سطح الخلية بالماء المقطر لإزالة بقايا المحلول ثم بعد ذلك تم ترسيب الجسيمات عليها بطريقة صب القطرة على سطح الخلية الساخن. ثم تم اجراء الفحوصات TEM وفحص للمعان الضوئي وطيف الامتصاصية. من الجدير بالذكر ان درجة حرارة الجهاز يجب مراقبتها وذلك من اجل الحفاظ على الجهاز بعيدا عن العطل والتلف في الوسط الفعال (بلورة Nd-YAG). ومن الضروري أيضا إعادة ضبط الليزر لتجهيزه للعمل مرة أخرى من خلال ضبط عداد النبض. الشكل (1) يوضح الجهاز المستخدم للاستئصال بالليزر.



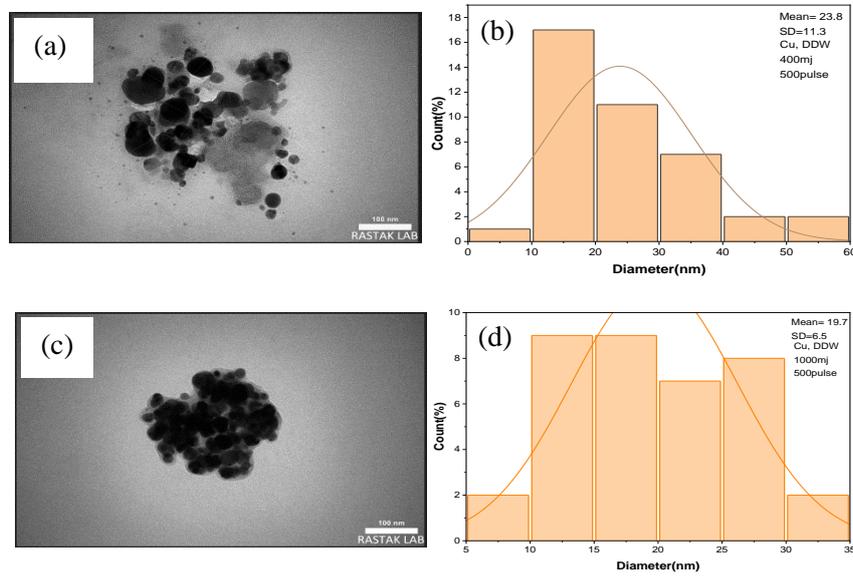
Fig. 1: The laser device.

### النتائج والمناقشة

#### الخصائص المورفولوجية (Structural Properties)

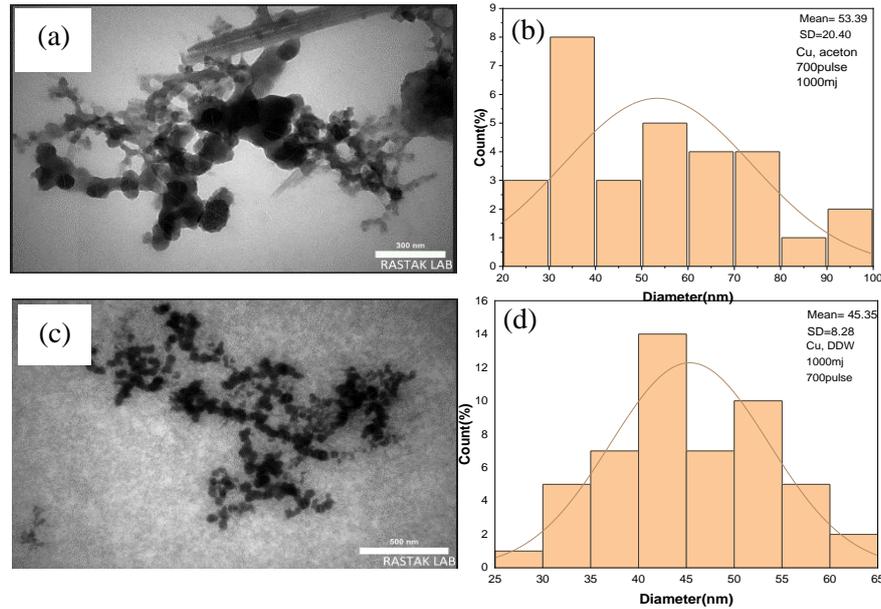
يوضح الشكل (2) صور المجهر الإلكتروني النافذ والتوزيع الحجمي لجسيمات النحاس المحضرة في الماء منزوع الأيونات (DIW)، بتردد 1Hz، بمسافة 6cm بين بلورة الليزر وسطح الهدف، وعدد نبضات 500pulse وطاقات (400mJ، 1000mJ). قطر الجسيمات يتراوح بين (0-60)nm عند الطاقة الأقل، وبمتوسط حجم 23.8nm، وانحراف معياري 11.3 كما بالشكل (2b). أما عند الطاقة الأعلى القطر يتراوح بين (5-35)nm، بمتوسط حجم 19.7nm، وانحراف معياري 6.5 كما في الشكل (2d) من.

الشكل (2a) نلاحظ ان حجم الجسيمات عند الطاقة الأعلى يكون أصغر سبب هذا قد يعود الى انه مع زيادة الطاقة للنبضة يؤدي هذا الى تبخر المادة بشكل أكبر، مما ينتج جسيمات أصغر حجما بسبب ارتفاع معدل التبخر (Dorranian *et al.*, 2014).



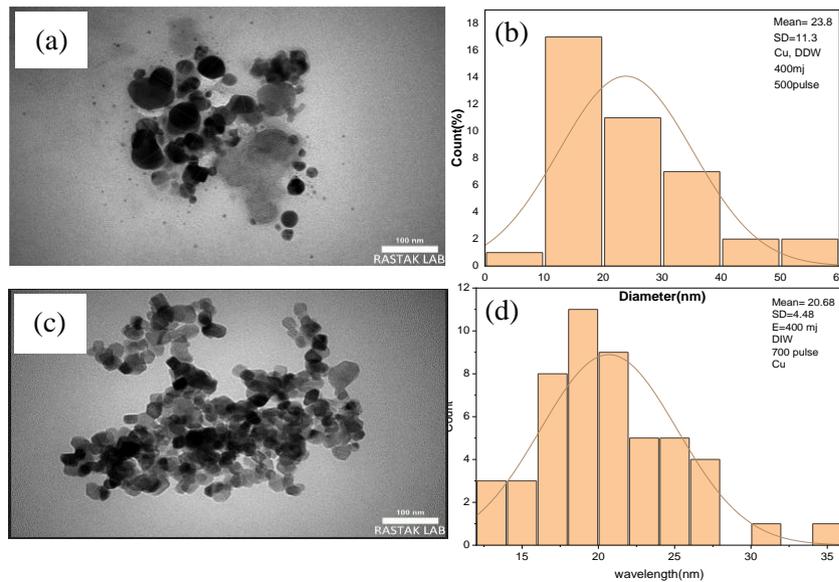
**Fig. 2: The TEM image and size distribution of copper nanoparticles in DIW at energy: (a) 400 mJ. (b) 1000 mJ.**

يوضح الشكل (3) صور المجهر الإلكتروني النافذ والتوزيع الحجمي لجسيمات النحاس المحضرة في (الاسيتون، الماء منزوع الأيونات) على التوالي، بطاقة 1000mJ وعدد نبضات 700pulse، بتردد 1Hz، وبمسافة 6cm بين بلورة الليزر وسطح الهدف. نلاحظ ان جسيمات النحاس المحضرة في الماء كانت بقطر يتراوح بين (25-65)nm، وبمتوسط حجم 45.35nm، وانحراف معياري 8.28 كما بالشكل (3d)، كانت أصغر حجما من الجسيمات المحضرة بالأسيتون التي يتراوح قطرها بين (20-100)nm، وبمتوسط حجم 53.39nm، وانحراف معياري 20.40 كما بالشكل (3b).



**Fig. 3: The TEM image and size distribution of copper nanoparticles at 700 pulses: (a) acetone. (b) DIW.**

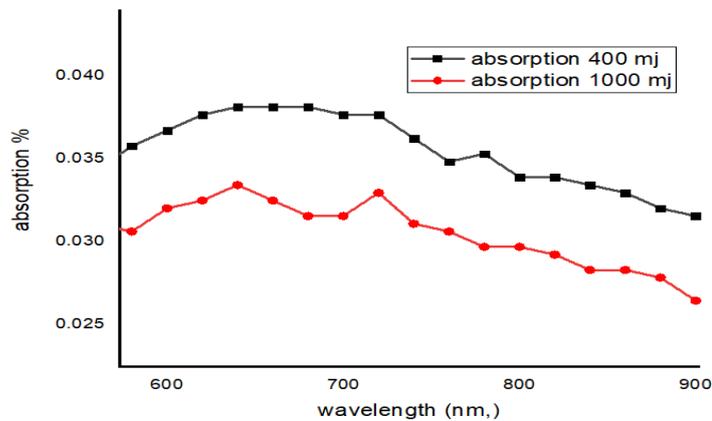
يوضح الشكل (4) صور المجهر الالكتروني النافذ والتوزيع الحجمي لجسيمات النحاس المحضرة في بطاقة DIW 400mJ، وبعدها نبضات (700 pulse، 500 pulse). نلاحظ انه عند النبضات الأعلى قطر الجسيمات يتراوح بين 5-35nm، بمتوسط حجم 20.68nm وانحراف معياري 4.48. كما مبيّن في الشكل (4d). كان حجم الجسيمات أصغر مقارنة بعدد النبضات الأقل اذ كان القطر يتراوح بين (0-60)nm، وبتوسط حجم 23.8nm، بانحراف معياري 11.3 كما في الشكل (4b).



**Fig. 4: The TEM image and size distribution of copper nanoparticles in DIW with energy 400 mJ: (a) 500 pulses. (b) 700 pulses.**

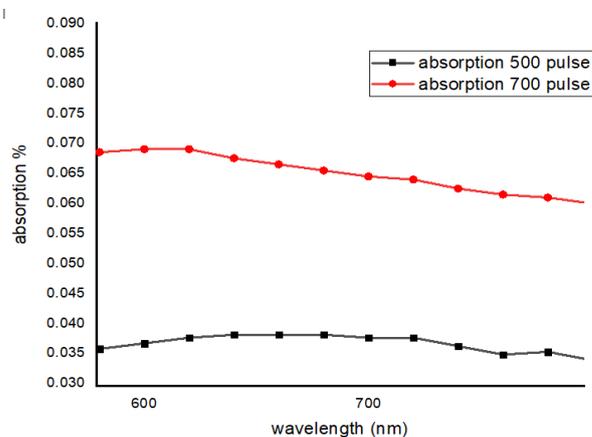
**الخصائص البصرية (Optical properties)**

يوضح الشكل (5) طيف الامتصاصية لجسيمات النحاس المحضرة بالماء منزوع الايونات بعدد نبضات 500 pulse، وطاقات (400mJ، 1000mJ) على التوالي. نلاحظ انه عند الطاقة الأقل كانت الامتصاصية اعلى منه عند الطاقة الأعلى والسبب في هذا قد يعزى الى دور الماء كوسط اذ انه عند الطاقة الأقل يتم امتصاص طاقة الليزر بشكل أكثر انتظاما على سطح النحاس، يبقى السطح متماسكا مما يسمح بامتصاص أكثر للطاقة. عند الطاقة الأعلى قد يتسبب الاجهاد الحراري العالي في تغيرات فيزيائية وسطحية (مثل التبخر السريع او تكون طبقة أكسيد غير مستقرة)، مما يقلل الامتصاصية. بالإضافة الى ان اشعة الليزر قد تتفاعل مع جزيئات الماء، خاصة عند الطاقات العالية، مما يؤدي الى امتصاص جزء من الطاقة قبل وصولها الى سطح النحاس (Begildayeva et al., 2020).



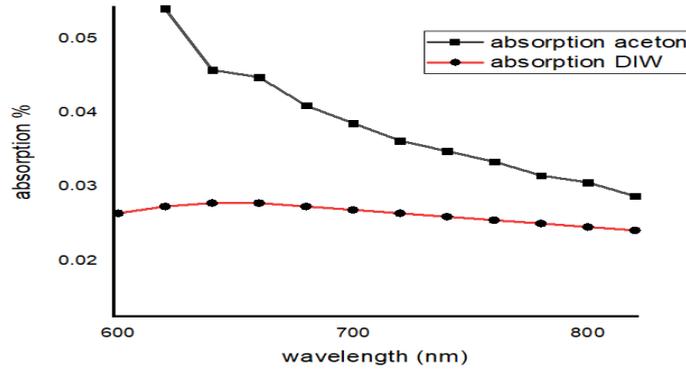
**Fig. 5: The absorption of copper nanoparticles in DIW at energy (400 mJ, 1000 mJ).**

يوضح الشكل (6) طيف الامتصاصية لجسيمات النحاس بطاقة 1000mJ المحضرة في (الاسيتون، الماء منزوع الايونات). نلاحظ ان الامتصاصية لجسيمات النحاس المحضرة بالأسيتون اعلى منها للماء. وذلك يعود الى ان الاسيتون مذيب عضوي منخفض القطبية وله نقطة غليان منخفضة نسبيا مقارنة بالماء. التفاعلات بين الجسيمات النانوية والمذيب أضعف مقارنة بالماء، مما يؤدي الى تكوين جسيمات نانوية اقل اكسدة وأكثر نقاء. حيث ان الجسيمات في الماء تتعرض للأكسدة بسهولة بسبب التفاعل مع الاوكسجين المذاب والماء نفسه، مما يؤدي الى تكوين اكاسيد النحاس (Cu<sub>2</sub>O و CuO) التي تقلل الامتصاصية (Begildayeva et al., 2020).



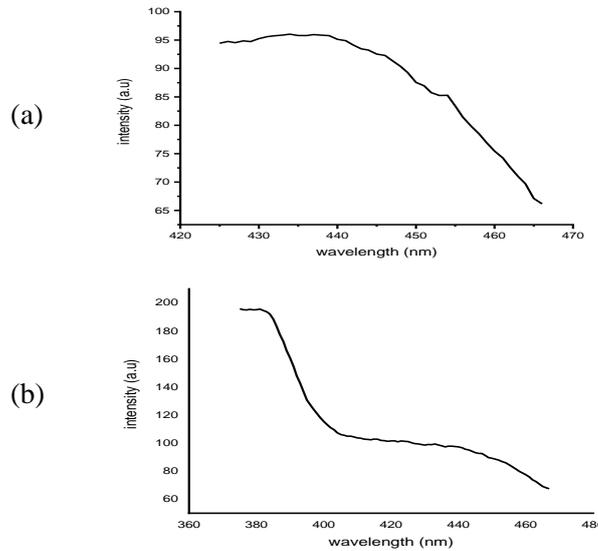
**Fig. 6: The absorption spectrum of copper nanoparticles at energy 400 mJ: (a) 500 pulses. (b) 700 pulses.**

يوضح الشكل (7) طيف الامتصاصية لجسيمات النحاس المحضرة بالماء منزوع الايونات بطاقة 400mJ ويعدد نبضات (500 pulse، 700 pulse). نلاحظ انه مع زيادة عدد النبضات تزداد الامتصاصية وهذا يعود لأسباب منها، زيادة تركيز الجسيمات مع زيادة عدد النبضات حيث ان التركيز الأعلى يزيد من كثافة الامتصاص الضوئي، الجسيمات النانوية تمتلك خاصية البلازمون السطحي، وهو اهتزاز الالكترونات الحرة على سطح الجسيمات عند اطوال موجية محددة. مع زيادة عدد البضات، يزداد عدد الجسيمات التي يمكن ان تتفاعل مع الضوء وتظهر هذه الخاصية، مما يزيد من امتصاصية الجسيمات النانوية (Rashid *et al.*, 2022).



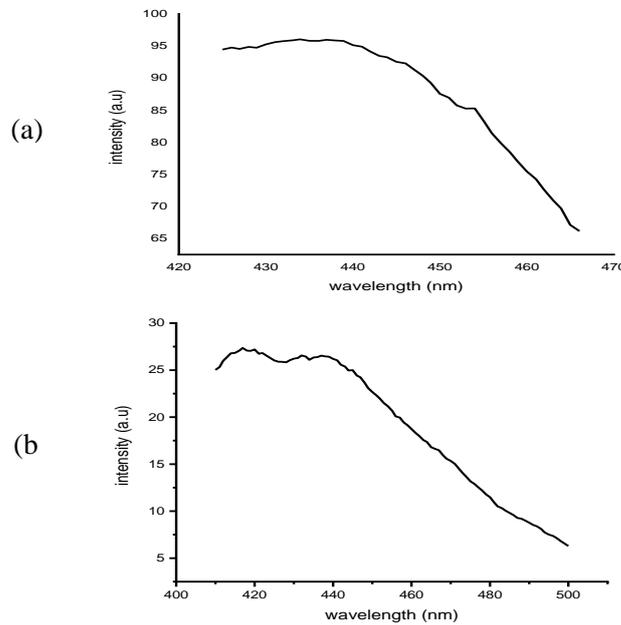
**Fig. 7: The absorption spectrum shows the copper particles at energy 1000mJ: (a) acetone. (b)DIW.**

يوضح الشكل (8) طيف اللمعان الضوئي لجسيمات النحاس النانوية المحضرة بالماء منزوع الايونات بعدد نبضات 500pulse وبطاقات (400 mJ، 1000 mJ). نلاحظ ان طيف اللمعان عند الطاقة الأقل بشدة 96a.u وطول موجي 433.9nm مما يعني مستوى عيوب بلورية اعلى مما يزيد من الشدة في حين عند الطاقة الأعلى الشدة كانت 27.07a.u بطول موجي 418nm مما يعني مستوى عيوب اقل والمادة أصبحت أكثر انتظاما. انخفاض الطول الموجي عند الطاقة الأعلى (الانتقال نحو الازاحة الزرقاء) يشير الى ان الجسيمات أصبحت أكثر انتظاما من الناحية البلورية مع تقليل مستوى العيوب السطحية او الداخلية، كما في الشكل (8b).



**Fig. 8: The PL spectrum of copper with 500 pulses: (a) 400 mJ. (b) 1000 mJ.**

يوضح الشكل (9) طيف اللمعان الضوئي لجسيمات النحاس النانوية المحضرة بالماء بطاقة 400 mJ، وبعدد نبضات (500 pulse, 700 pulse). نلاحظ ان طيف اللمعان عند عدد النبضات الأقل بشدة 96 a.u عند الطول الموجي 433.9 nm كما في الشكل (9a). اما عند عدد النبضات الأعلى نلاحظ قمتين لشدة اللمعان احدهما عند الاطوال الموجية القصير عند طول الموجي 381nm بشدة 195.6 a.u والقمة الثانية عند الطول الموجي 433.9 nm بشدة 98.77 a.u كما في الشكل (9b). القمة غالبا ما تكون مرتبطة بالانتقالات الالكترونية السطحية في جسيمات النحاس او باستجابة الرنين البلازموني السطحي، ان هذه الظاهرة تعتمد على حجم والشكل ومحيط الجسيمات النانوية. اما بالنسبة للقمة الثانية فتشير الى تغيرات في توزيع الحجم او حدوث تفاعل مع سطح الجسيمات، مثلا تكون أكسيد النحاس. هذه التغيرات تظهر غالبا عند زيادة عدد النبضات، حيث يؤدي زيادة النبضات الى تعديل في حجم الجسيمات او نشوء مركبات سطحية.

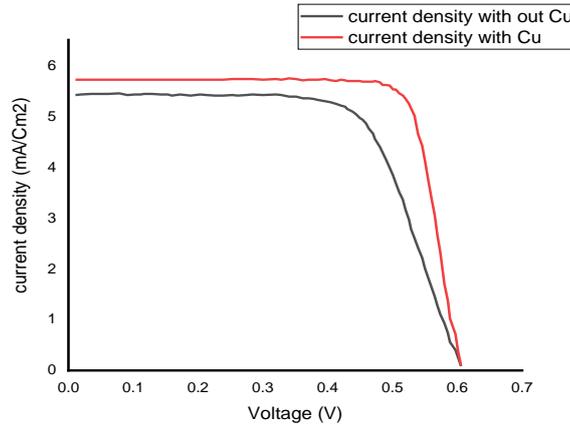


**Fig. 9: The PL spectrum of copper with energy 400 mJ: (a) 500 pulses. (b) 700 pulses.**

يوضح (الجدول 1) معلمات الخلايا الشمسية مع الجسيمات النانوية وبدونها. ان الزيادة في كفاءة خلية السليكون نوع P-type (PCE) تعزى الى التحسين في معلمات الخلية مثل تيار الدائرة القصيرة ( $J_{sc}$ )، فولتية الدائرة المفتوحة ( $V_{oc}$ )، بالإضافة الى  $F.F$ ، المساهم الأكبر في هذه الزيادة هو تيار الدائرة القصيرة ( $J_{sc}$ ). هذا يعزى الى تحسين امتصاص البلازمون السطحي لأشعة الضوء الساقط. وبالتالي تقليل الانعكاسية. استجابة الخلايا مع الجسيمات النانوية كانت أفضل من الخلايا العادية. كما موضح في (الجدول 1) وخصائص الخلية ( $I-V$ ) كما في (الشكل 10).

**Table1: Solar cell parameters with and without nanoparticles.**

	$J_{os}$ (mA/cm <sup>2</sup> )	$V_{oc}$ (volt)	F.F	PCE %
Without Cu NPs	5.427	0.605	0.683	2.242
With Cu NPs.	5.738	0.680	0.665	2.595



**Fig. 10: Characteristics of the solar cell relative to copper nanoparticles.**

### الاستنتاجات

تناول البحث عملية تحضير جسيمات النحاس النانوية باستخدام تقنية الاستئصال بالليزر النبضي في السائل (PLAL). أظهرت الدراسة أن زيادة طاقة الليزر وعدد النبضات تؤدي إلى ارتفاع تركيز الجسيمات النانوية، في حين تقل النفاذية مع ارتفاع طاقة الليزر نتيجة زيادة عدد الجسيمات الممتصة لشعاع الليزر. وأوضحت صور المجهر الإلكتروني النافذ أن متوسط حجم الجسيمات يقل مع زيادة طاقة الليزر، حيث بلغ 19.7 نانومتر عند الطاقة الأعلى مقارنة بـ 23.8 نانومتر عند الطاقة الأقل. أما بالنسبة لتأثير عدد النبضات، فكان متوسط حجم الجسيمات 20.68 نانومتر عند العدد الأعلى للنبضات مقارنة بـ 23.8 نانومتر عند العدد الأقل. كما أظهر طيف الامتصاصية أن الشدة كانت أكبر عند الطاقة الأقل، بينما زادت مع زيادة عدد النبضات. بالنسبة لطيف المعان الضوئي، سجلت شدة قدرها 96 وحدة عند طول موجي 433.9 نانومتر للطاقة الأقل، و 27.07 وحدة عند طول موجي 418 نانومتر للطاقة الأعلى. وعند زيادة عدد النبضات، لوحظت قمتان؛ الأولى عند طول موجي 381 نانومتر بشدة 195.6 وحدة، والثانية عند طول موجي 433.9 نانومتر بشدة 98.77 وحدة. تعكس هذه النتائج تأثير طاقة الليزر وعدد النبضات على الخصائص التركيبية والبصرية لجسيمات النحاس النانوية، مما يفتح المجال أمام دراسات مستقبلية في هذا المجال. كما أظهرت النتائج تحسناً ملحوظاً في كفاءة الخلايا الشمسية بعد إضافة الطبقة النانوية.

### المصادر

- Ahmad, S.; Leong, C.; Sopian, K.; Zaidi, S. (2017). Performance evaluation of screen-printed C-Si solar cells fabricated by the simple and low-cost process. *Dig. J. Nano. Biost.*, **12**(2), 495-506.
- Akgul, G.; Akgul, F.A.; Mulazimoglu, E.; Unalan, H.E.; Turan, R. (2014). Fabrication and characterization of copper oxide-silicon nanowire heterojunction photodiodes. *J. Phy. D: App. Phy.*, **47**(6). DOI: 10.1088/0022-3727/47/6/065106
- Al-Greer, M.; Chowdhury, R.I.; Sajeevan, A.C.; Sabry, S.S.; Suhail, A.M.; Abdulwahid, O. (2024). Solar energy education: Curriculum framework development. *Inter. Sym. Sys. Eng.*, 1-6, DOI: 10.1109/ISSE63315.2024.10741109
- Baloach, Q.A.; Tahira, A.; Mallah, A.B.; Abro, M.I.; Uddin, S.; Willander, M.; Ibupoto, Z.H. (2016). A robust, enzyme-free glucose sensor based on lysine-assisted CuO nanostructures. *Sen. (Switzerland)*, **16**(11). DOI: 10.3390/s16111878
- Begildayeva, T.; Lee, S.J.; Yu, Y.; Park, J.; Kim, T.H.; Theerthagiri, J.; Ahn, A.; Jung, H.J.; Choi, M.Y. (2020). Production of copper nanoparticles exhibiting various morphologies via pulsed laser ablation in different solvents and their catalytic activity for reduction of toxic

- nitroaromatic compounds. *J. Hazard. Mat.*, **409**, 124412. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2020.124412
- Bhargava, R.N.; Gallagher, D.; Hong, X.; Nurmikko, A. (1994). Optical properties of manganese-doped nanocrystals of ZnS. *Phys. Rev. Lett.*, **72**(3), 416–419. DOI: 10.1103/PhysRevLett.72.416
- Chang, W.; skandan, G.; Hahn, H.; Danforth, S.C.; Kear, .B.H. (2019). Chemical vapor condensation. *J. Chem. Infor. Mod.*, **53**(9), 1689–1699.
- Dikusar, A.I.; Globa, P.G.; Belevskii, S.S.; Sidel'nikova, S.P. (2009). On limiting rate of dimensional electrodeposition at meso- and nanomaterial manufacturing by template synthesis. *Sur. Eng. App. Electroch.*, **45**(3), 171–179. DOI: 10.3103/S1068375509030016
- Dorranian, D.; Ahmadi, A.S.; Tahmasebi, N.; Fotovat, E.A. (2014). Effect of laser pulse energy on the characteristics of Cu nanoparticles produced by laser ablation method in acetone. *J. Clus. Sci.*, **25**(4), 1147-1156. DOI: 10.1007/s10876-014-0696-2
- Elfaham, M.M.; Mostafa, A.M.; Toghan, A. (2021). Colloids and surfaces A : Physicochemical and engineering aspects facile synthesis of Cu<sub>2</sub>O nanoparticles using pulsed laser ablation method for optoelectronic applications. *Coll. Sur. A: Physicoch. Eng. Asp.*, **630**(July), 127562. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2021.127562
- Gohil, S.; Chandra, R.; Chalke, B.; Bose, S.; Ayyub, P. (2007). Sputter deposition of self-organized nanoclusters through porous anodic alumina templates. *J. Nanosci. Nanotech.*, **7**(2), 641-646. DOI: 10.1166/jnn.2007.121
- Goncharova, D.A.; Kharlamova, T.S.; Lapin, I.N.; Svetlichnyi, V.A. (2019). Chemical and morphological evolution of copper nanoparticles obtained by pulsed laser ablation in liquid. *J. Phy. Chem. C*, **123**(35), DOI: 10.1021/acs.jpcc.9b03958
- Hussein, M.; Ahmad, S. (2024). Surface texturing of silicon wafers by two-step Ag-assisted etching process with new NSR solution. *Jordan J. Phy.*, **17**(3), 299-311, DOI: 10.47011/17.3.5
- Kumar, M.S.; Prabhakar, S.; Prakash, S. (2015). Performance enhancing the efficiency of solar PV cells using nanotechnology. *J. Chem. Pharm. Sci.*, **7**, 362–364.
- Li, K.; Fan, G.; Yang, L.; Li, F. (2014). Novel ultrasensitive non-enzymatic glucose sensors based on controlled flower-like CuO hierarchical films. *Sen. Actu., B: Chem.*, **199**, 175-182. DOI: 10.1016/j.snb.2014.03.095
- Morales, J.; Sánchez, L.; Martín, F.; Ramos-Barrado, J.R.; Sánchez, M. (2005). Use of low-temperature nanostructured CuO thin films deposited by spray-pyrolysis in lithium cells. *Thin S. Films*, **474**(1-2), 133-140. DOI: 10.1016/j.tsf.2004.08.071
- Nguyen, T.B.; Nguyen, T.D.; Nguyen, Q.D.; Nguyen, T.T. (2014). Preparation of platinum nanoparticles in liquids by laser ablation method. *Adv. Nat. Sci.: Nanosci. Nanotech.*, **5**(3). DOI: 10.1088/2043-6262/5/3/035011
- Pendleton, W.K. (1981). Springer series in optical sciences: Laser crystals. *Phy. Bull. Mie Theory*, **32**(10). DOI: 10.1088/0031-9112/32/10/032
- Rashid, S.N.; Jasim, A.S.; Aadimb, K.A. (2022). Influence of number of pulses on characterization of nanoparticles of copper and its oxides synthesized by Nd: YAG laser ablation technique and its antibacterial activity. *NeuroQ.*, **20**(3), 150-159. DOI: 10.14704/nq.2022.20.3.nq2205
- Serhan, M.; Sprowls, M.; Jackemeyer, D.; Long, M.; Perez, I.D.; Maret, W.; Tao, N.; Forzani, E. (2019). Total iron measurement in human serum with a smartphone. *AIChE Ann. Meet. Confer. Proc.*, 2019-Novem. DOI: 10.1039/x0xx00000x
- Serkis, Y.S.; Ulutas, U.; Huda, M.; Abd Alqader, Y. (2021). Effect of Na doping on the properties of ZnS thin films and ZnS/Si heterojunction cells. *Mat. Lett.*, **288**, DOI: 10.1016/j.matlet.2021.129347
- Serkis, Y.S.; Abd Alqader, H.M. (2022). Effect of Na doping and heat treatment on the characteristics of ZnO thin films and ZnO/Si cells. *Mat. Lett.*, **328**(September), 10-13.

DOI: 10.1016/j.matlet.2022.133118

- Sharad, K.; Kaveri, B.; Mahesh, M.; Swapnali, N. (2015). Methods of preparation of nanoparticles. *Inter. J. Adv. Res. Sci., Comm. Tech.*, 7(4), 121-127. DOI: 10.48175/ijarsct-9485
- Yang, G. (2012). "Laser Ablation in Liquids, Principles and Applications in the Preparation of Nanomaterials". Jenny stanford publiishing. DOI: 10.1201/b11623
- Zhang, Q.; Zhang, K.; Xu, D.; Yang, G.; Huang, H.; Nie, F.; Liu, C.; Yang, S. (2014). CuO nanostructures: Synthesis, characterization, growth mechanisms, fundamental properties, and applications. *Prog. Mat. Sci.*, 60(1), 208-337. DOI: 10.1016/j.pmatsci.2013.09.003
- Zhang, J.; Ma, J.; Zhang, S.; Wang, W.; Chen, Z. (2015). A highly sensitive nonenzymatic glucose sensor based on CuO nanoparticles decorated carbon spheres. *Sen. Act., B: Chem.*, 211, 385-391. DOI: 10.1016/j.snb.2015.01.100

## **Study of the Structural and Optical Properties of Copper Nanoparticles Prepared by Pulsed Laser Ablation in Liquid and Study of their Effect on the Efficiency of Solar Cells**

**Noor G. Abed**

**Samir M. Ahmad**

*Department of Physics/ College of Sciences/ University of Mosul/ Nineveh*

**The Alfiqar A. Zaker**

*Department of Laser and Spectroscopy/ Laser and Photonics Center/ University of Al-Hamdaniya, Nineveh*

### **ABSTRACT**

Given the importance of nanoparticles due to their unique properties resulting from their small size and large surface area-to-volume ratio, in this study, copper nanoparticles were prepared by pulsed laser ablation in liquid (PLAL), as the ablation was performed in deionized water (DIW) and acetone. Using an Nd-YAG laser with a wavelength of 532 nm and laser energies (400 mJ, 1000 mJ) and a repetition rate of 1 Hz and a number of pulses (500, 700). The effect of laser energy, number of pulses and type of solution on the structural and optical properties of nanoparticles produced using pulsed laser ablation in liquid was studied. The results of the transmission electron microscope (TEM) examination showed that the average size of the produced nanoparticles was 23.8 nm at the lowest energy, while at the highest energy it was (19.7 nm). The optical measurements (UV-Vis) showed an increase in the concentration of the material with increasing the laser energy and the number of pulses due to the increase in the number of particles removed. Increasing the laser energy led to a decrease in the transmittance, which in turn led to an increase in the absorbance. The results of the photoluminescence (PL) examination showed that the intensity of the photoluminescence for the lowest energy was (96a.u.) at a wavelength of 433.9nm, while at the highest energy it was (27.07a.u.) at a wavelength of 418nm. Finally, copper nanoparticles with laser energy of 400mJ and pulse number of 500 pulses prepared with deionized water were selected for deposition on silicon solar cells, using drop casting technique.

**Keywords:** Laser ablation, copper nanoparticles, solar cells, plasmon resonance.