

## Study of Electrical Properties of Silver Nanoparticles deposited on Porous Silicon

Mohammed Ibrahim Ismael<sup>1\*</sup>, Ghazwan Ghazi Ali<sup>2</sup>

Department of Physics, College of Education for Pure Science, University of Mosul, Mosul, Iraq

E-mail: <sup>1\*</sup>[Mohammed.esp122@student.uomosul.edu.iq](mailto:Mohammed.esp122@student.uomosul.edu.iq), <sup>2</sup>[dr.ghazwan39@uomosul.edu.iq](mailto:dr.ghazwan39@uomosul.edu.iq)

(Received March 06, 2021; Accepted April 19, 2021; Available online September 01, 2021)

DOI: [10.33899/edusj.2021.129664.1147](https://doi.org/10.33899/edusj.2021.129664.1147), © 2021, College of Education for Pure Science, University of Mosul.

This is an open access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

### ABSTRACT

In this paper, porous silicon has been prepared and studied by photochemical etching method using a n-type silicon wafer with electrical resistivity (0.01-0.02  $\Omega$ .cm), orientation (100), 20% HF concentration of hydrofluoric acid, current density of 15 mA / cm<sup>2</sup> and etching time at (5min). Silver nanoparticles (AgNPs) have been deposited using laser ablation by drop casting by different laser energy of 400,600 and 800m J. The electrical properties (I-V measurements) of silver nanoparticles on porous silicon have studied in both light and dark conditions. It can be seen the samples behave a rectifier and the current density increases with increase laser energy due to increase in concentration of silver nanoparticles, which lead to a decrease in the values of resistivity as the laser energy increases, this is attributed to the pores are filled with silver nanoparticles and lead to interference between silver and the porous silicon layer. The silver nanoparticles play an important role in forming a homogeneous layer and enhancing the crystal stability of the porous silicon layer.

**Keywords:** Porous silicon , Silver nanoparticles, Electrical properties.

### دراسة الخصائص الكهربائية لجسيمات الفضة النانوية المرسبة على السليكون المسامي

محمد ابراهيم اسماعيل<sup>1\*</sup>, غزوان غازي علي<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> قسم الفيزياء / كلية التربية للعلوم الصرفة / جامعة الموصل

### المخلص

يهدف البحث إلى تحضير ودراسة خصائص السليكون المسامي بطريقة التتميش الكهروكيميائي الضوئي باستخدام شريحة السليكون نوع n-type ذات مقاومة كهربائية (0.01- 0.02  $\Omega$ .cm) وذات اتجاهية (100) وبتركيز 20 % من حامض الهيدروفلوريك (HF) و بكثافة تيار ثابتة 15 mA/cm<sup>2</sup> عند زمن تتميش (5 min) . رُسبت دقائق الفضة النانوية (AgNPs) باستخدام الليزر النبضي ذي القدرة العالية (Pulsed Laser ablation) بطريقة التقطير (drop casting) وباستخدام طاقات مختلفة لليزر النبضي (400,600 and 800mJ). بينت نتائج الخصائص الكهربائية (I-V measurements) لجسيمات الفضة النانوية المرسبة على السليكون المسامي AgNPs/PSi في حالتها الاضاءة والظلام. بأن جميع العينات تسلك سلوكاً تقويمياً (rectifier) وان

كثافة التيار تزداد مع زيادة طاقة الليزر، والسبب يعود في ذلك الى زيادة تركيز جسيمات الفضة النانوية التي تؤدي بدورها الى انخفاض في قيم المقاومة مع زيادة طاقة الليزر حيث تملى المسامات بالجسيمات الفضة النانوية وتؤدي الى تداخل طبقة الفضة مع طبقة السليكون المسامي . وتؤدي الجسيمات الفضة النانوية دوراً مهماً في تكوين طبقة متجانسة وتعزز الاستقرار البلوري لطبقة السليكون المسامي.

**الكلمات المفتاحية:** السليكون المسامي PSI, جسيمات الفضة النانوية AgNPs, الخصائص الكهربائية.

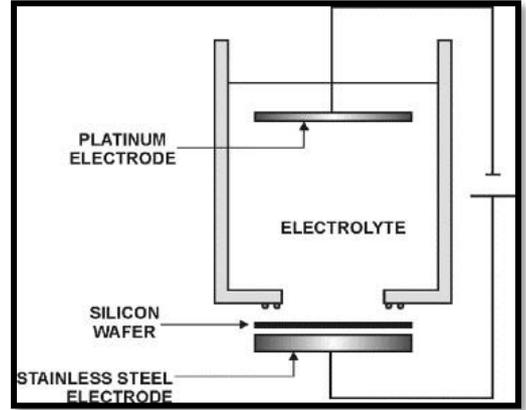
## المقدمة

تعد تقنية الاستئصال بالليزر النبضي (pulsed laser ablation) إحدى التقنيات الفيزيائية المستخدمة لتحضير جسيمات نانوية باستعمال تقنية من الأعلى الى الأسفل وذلك باستخدام ليزر ذي طاقة عالية ونبضات قصيرة مؤثرة على المعدن , تتم تلك العملية بتبخير وتكثيف الجسيمات النانوية المستخدمة لذلك فان تصنيع الاسلاك النانوية شبه الموصلة تجمع ما بين تكوين عناقيد بأحجام نانوية باستخدام الليزر النبضي وبين النمو الحاصل بخار - سائل - صلب (VLS) للمادة المستخدمة . تعتبر هذه الطريقة سهلة جداً وقل كلفة كما ان الجسيمات النانوية المتولدة تكون متجانسة نسبياً [1]. يعد السليكون المسامي المؤلف من التراكيب النانوية هو أحد المواد المهمة جداً والتي فتحت أفقاً واسعة في مجال التطبيقات الكهروضوئية نسبة الى مساحته السطحية الكبيرة وقابلية الإستضاءة العالية في درجات الحرارة الاعتيادية، يمتلك السليكون المسامي تركيباً اسفنجياً على هيئة شبكة من الفراغات مغروسة فيها [2] , فقد وضع العالم (Canham) في 1990 بأن السليكون المسامي يمتلك كفاءة لمعان ضوئية كبيرة (PL) عند درجة حرارة الغرفة في المنطقة المرئية [3]. إذ اصبح السليكون المسامي المادة المفضلة للتطبيقات الالكترونية والبصرية لأنه أقل كلفة وأقل استهلاكاً للطاقة. إن الاهتمامات الفعالة في المواد النانوية تتبع من خصائصها الفريدة الفيزيائية والكيميائية والوظيفية التي غالباً ما تختلف كثيراً عن نظائرها من المواد الحجمية (Bulk materials) . فالعديد من هذه الخصائص الفريدة من نوعها واعدة للغاية بالنسبة لتطبيقات تقنية النانو وتشمل الكترونيات النانو (Nano electronics) , ونبائط ضوئية (Photonic Devices) , والطب الحيوي (Biomedicine) وتخزين المعلومات وكذلك الاتصالات وتحويل الطاقة وحماية البيئة واستكشاف الفضاء [4] . الهدف من هذا البحث هو دراسة الخصائص الكهربائية (I-V measurements) لجسيمات الفضة النانوية المرسبة على السليكون المسامي بطريقة الاستئصال بالليزر باستخدام طاقات مختلفة .

## الجزء العملي

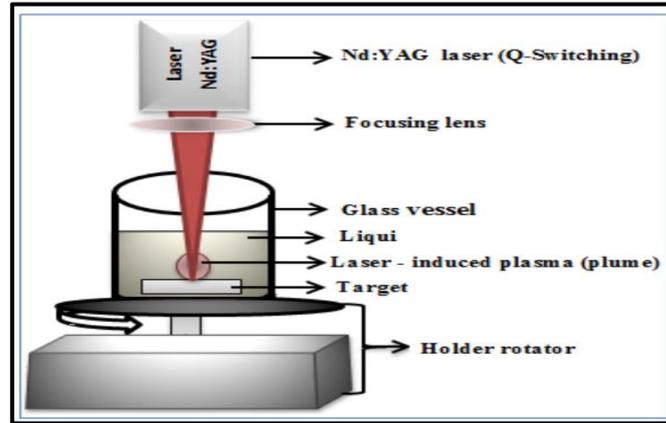
تتكون منظومة التتميش الكهروكيميائي الضوئي من جهاز قدرة (DC Power supply) نوع (THAOXIN) يستخدم كمصدراً للتيار واميتر لقياس التيار المار. تم غمر العينات في خليط من محلولي حامض الهيدروفلوريك (HF) بنسبة (20%) والايثانول (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH) . إذ تم وضع المحلول في خلية مصنوعة من مادة التفلون المقاومة للأحماض القوية كحامض الهيدروفلوريك, ووضع معدن من الفولاذ المقاوم للصدأ في الجزء السفلي من الخلية (Stainless steel) والذي صمم بشكل دقيق لأجل التماس أثناء عملية الأنودة , إذ وضعت شريحة السليكون أسفل القرص الدائري المصنوع من مادة التفلون والذي يحتوي على فتحة دائرية في المنتصف قطرها (1cm) وذلك للسماح للمحلول بالمرور على شريحة السليكون إذ يوضع حوله المطاط الدائري (O-ring) قبل وضع الجزء العلوي من الخلية لمنع تسرب المحلول الى أسفل الخلية , من الضروري أن يكون حامض الهيدروفلوريك مخففاً بالإيثانول لإزالة فقاعات الهيدروجين أثناء عملية التتميش وكذلك الحصول على مسامات متجانسة, تم استخدام قطبين للخلية الكهروكيميائية. تتكون المنظومة من قطبين القطب الأول (السفلي) من مادة الفولاذ المقاوم للصدأ (Stainless steel) أسفل شريحة السليكون (الأنود) والقطب الثاني (العلوي) من مادة الذهب (Gold) أعلى شريحة السليكون (الكاثود) , تم استخدام مصدر ضوئي

تتكدس  $100\text{mW}/\text{cm}^2$  وكما في الشكل (1)، بعد الانتهاء من ربط الدائرة الكهربائية أجريت العملية عند زمن تتميش (5min) وعند كثافة تيار  $15\text{ mA}/\text{cm}^2$  وتم الحصول على طبقات مسامية متجانسة. بعد ذلك يمكن إنتاج دقائق نانوية من الفضة Ag Nps عن طريق الليزر النبضي ذو الطاقة العالية وذلك بغمر معدن الفضة (ذو نقاوة عالية) في وعاء زجاجي موضوع الى الاسفل يحتوي على 3ml من الماء الايوني وتسمى طريقة الترسيب بالتقطير (drop casting) ثم يقصف الهدف عموديا بواسطة الليزر النبضي Nd:YAG طولله الموجي (1064nm) وبطاقات مختلفة (400,600,800 mJ) وعدد نبضات (200) نبضة ولتحقيق أقصى شدة لليزر يستخدم عدسة ذات بعد (12cm) بينها وبين الهدف كما في الشكل (2) الذي يمثل المنظومة العملية لليزر النبضي (pulsed laser ablation) ثم نقوم بترسيب الدقائق النانوية Ag Nps بطاقات مختلفة على السليكون المسامي عن طريق صب القالب كما في الشكل (3)، كما يوضح الشكل (4) صور لمحاليل الفضة النانوية المحضرة بطريقة الاستئصال بالليزر.

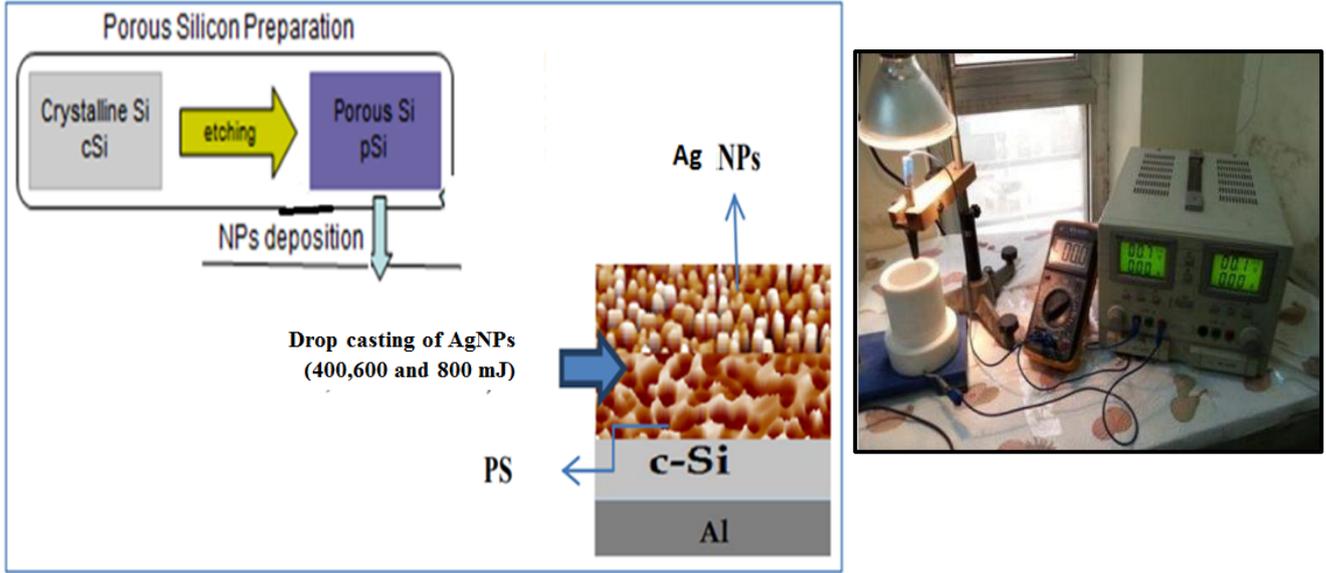


الشكل 1: رسم تخطيطي لخلية الأنودة.

الشكل 2 : المنظومة العملية لليزر النبضي (pulsed laser ablation).



الشكل 3 : عملية تحضير السليكون المسامي وطريقة استخدام الليزر النبضي لترسيب دقائق الفضة النانوية.



الشكل 4 : محاليل الفضة النانوية المحضوة بطريقة الليزر النبضي (pulsed laser ablation).

### النتائج والمناقشة

#### خصائص (تيار - فولتية) في الظلام

تم إجراء قياسات الخصائص الكهربائية (J-V) لعينات السليكون المسامي قبل وبعد ترسيب جسيمات الفضة النانوية عند زمن تدميش 5 min للانحياز الأمامي والعكسي في حالة الظلام وتم قياس التيار الخارجي، نلاحظ من الشكل (5) ان خصائص التيار - الفولطية تكون ضعيفة للسليكون المسامي، والسبب يعود الى تكوين مراكز اصطياد للحاملات (Capture centers) وإعادة الالتحام للتيار الذي نشأ من البنية المسامية للسليكون المسامي، وهذا يؤدي الى زيادة المقاومة ونقصان في مقدار التيار المار عند السطح [5,6]. بعد ترسيب جسيمات الفضة النانوية على سطح السليكون المسامي بطريقة الاستئصال بالليزر النبضي وباستخدام طاقات (400,600 and 800 mJ)، تمت ملاحظة ان خصائص التيار - الفولطية حدث بها انهيار، وزيادة فعالة في قيم كثافة التيار مع زيادة طاقة الليزر مقارنة بالسليكون المسامي، وادى زيادة كثافة التيار الى زيادة في تركيز جسيمات الفضة النانوية والتي تؤدي الى انخفاض في قيم المقاومة مع زيادة طاقة الليزر حيث تملئ المسامات بالجسيمات الفضة النانوية وتؤدي الى تداخل طبقة الفضة مع طبقة السليكون المسامي حيث ان قيم المقاومة للسليكون المسامي كانت  $3.45 \times 10^6 \Omega \cdot \text{cm}$  بينما قيم المقاومة

AgNPsi/PSi للطاقات 400,600 and 800 mJ هي (  $9.26 \times 10^5 \Omega \cdot \text{cm}$  ) (  $7.66 \times 10^5 \Omega \cdot \text{cm}$  ) و (  $10^5 \Omega \cdot \text{cm}$  ) على التوالي , معنى ذلك ان العينات تسلك سلوك شوتكي [7] . نلاحظ وجود منطقتين في حالة الانحياز الأمامي, منطقة الفولتية الواطئة  $V_f < 1 \text{ Volt}$ , تيار الاتحاد يكون المهيمن بسبب تركيز الحاملات تكون أكبر من الحالة النقية  $n_p > n_i^2$  لذلك من أجل الوصول الى حالة اتزان فإن عملية الاتحاد سوف تكون مهيمنة وهذا يعني بأن كل الالكترود متهيج من حزمة التكافؤ الى حزمة التوصيل سوف يتحد مع الفجوة في حزمة التكافؤ . عند الفولتية العالية  $V_f > 1$  تيار الانحياز الأمامي يزداد أسياً مع الفولتية المسلطة, تعطي الفولتية طاقة كافية للتغلب على حاجز الجهد ويسمى بتيار الانتشار [8] . يمكن حساب عامل المثالية وارتفاع جهد الحاجز وكذلك المقاومة وفقاً للمعادلات الآتية [9] :

$$\Phi_B = \frac{k_B T}{q} \ln \left( \frac{A^{**} T^2}{J} \right) \quad \dots \dots \dots (1)$$

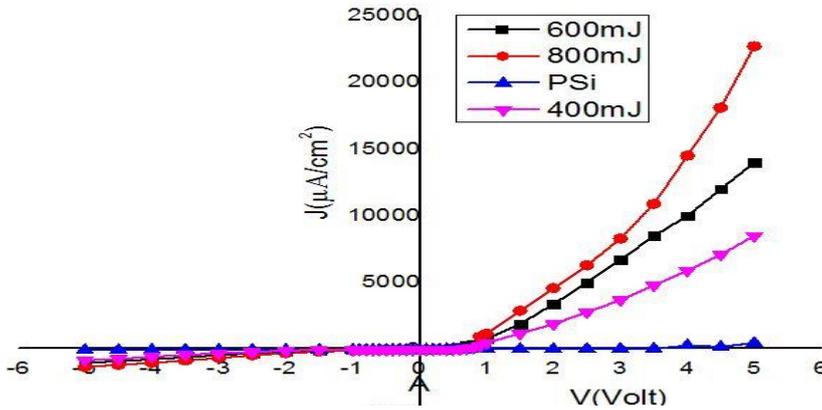
$$n = \frac{q \Delta V}{K_B T \ln \frac{I}{I_s}} \quad \dots \dots \dots (2)$$

J كثافة التيار الامامي ( $\text{A/cm}^2$ )  
V الفولتية المسلطة  
 $k_B$  ثابت بولتزمان ( $1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ )  
 $A^{**}$  ثابت ريجاردسون ( $\text{A/cm}^2 \text{K}$ ) وقيمته 110 للسليكون نوع n

$$\rho_{PSi} = \frac{dV}{dJ \cdot dpsi} \quad \dots \dots \dots (3)$$

إذ ان  $\rho_{PSi}$  مقاومة الطبقة المسامية ( $\Omega \cdot \text{cm}$ )  
 $dV/dJ$  الميل الخطي المستخرج من العلاقة (J-V)  
 $dpsi$  سمك طبقة السليكون المسامي ( $\mu\text{m}$ )

نلاحظ ان العينات تسلك سلوكاً تقويمياً (Rectifier) وان عامل المثالية والجهد الحاجز يقلان مع زيادة طاقة الليزر , يعزى ذلك الى آلية نقل التيار عن طريق إعادة اتحاد حاملات الشحنة [10].

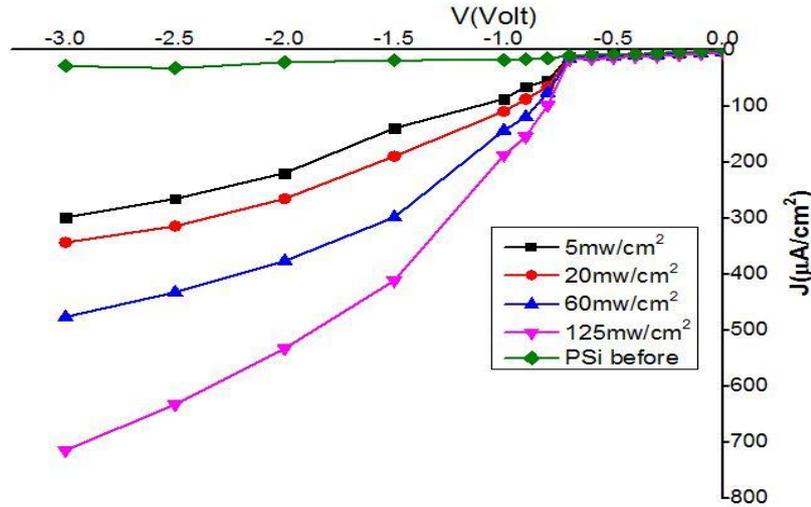


الشكل 5 : قياسات (J-V) في الظلام لعينات السليكون المسامي قبل وبعد ترسيب جسيمات الفضة النانوية عند زمن 5min وعند طاقات 400,600and 800mJ.

### خصائص (تيار - فولتية) في الإضاءة

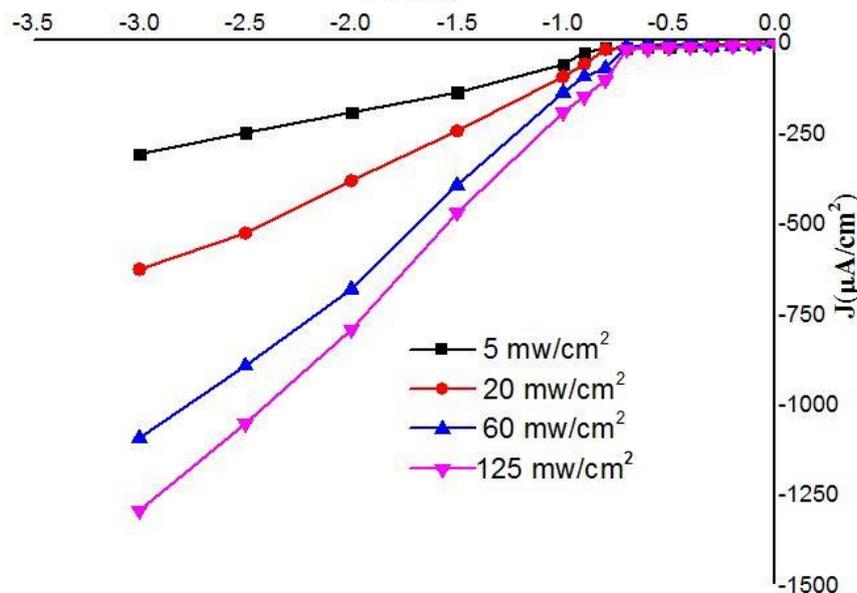
دُرست الخصائص الكهروضوئية قبل وبعد ترسيب جسيمات الفضة النانوية على السليكون المسامي عند زمن تتميش 5 min عند طاقات 400,600 and 800m J وباستخدام شدة اضاءة مختلفة (  $5,20,60$  and  $120 \text{ mw/cm}^2$  ) . يوضح الشكل (6) خصائص (J-V) في حالة الإضاءة عند زمن تتميش 5min. لعينة السليكون المسامي, نلاحظ ان قيم كثافة التيار الضوئي

تزداد تدريجياً مع زيادة شدة الاضاءة ويؤدي ذلك الى زيادة في كثافة الحاملات المتولدة عند السطح مما يؤدي بدوره الى زيادة في التيار الناتج . كما نلاحظ من الاشكال (7), (8) و(9) زيادة في كثافة التيار للعينات بشكل ملحوظ بعد ترسيب جسيمات الفضة النانوية بسبب زيادة في توليد ازواج الكترون - فجوة بشكل فعال في منطقة الاستنزاف بين طبقات السليكون المسامي وجسيمات الفضة النانوية , يعزى ذلك الى تحسين امتصاص الضوء الناتج عن وجود جزيئات الفضة النانوية على السليكون المسامي خلال عملية الرنين البلازمون السطحي. ان زيادة في كثافة الحاملات يسبب نقصان في قيم المقاومة وهذا يؤدي الى زيادة في التوصيلية الكهربائية . من ناحية اخرى , تؤدي زيادة شدة الضوء الى زيادة التيار الضوئي الذي تم ملاحظته مما يشير الى خصائص خطية جيدة لأجهزة الاستشعار الضوئية المركبة [11] .



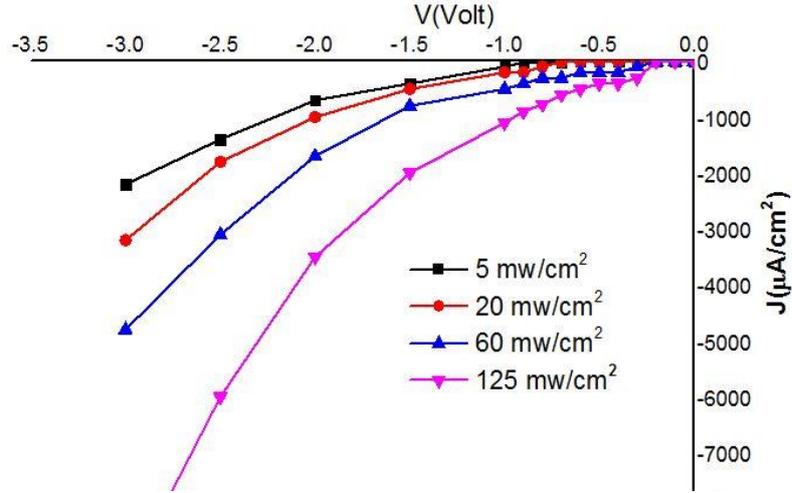
الشكل 6 : قياسات (J-V) في الاضاءة لعينة السليكون المسامي قبل ترسيب جسيمات الفضة النانوية عند

زمن 5min وعند شدة اضاءة 5,20,60 and 125 mw/cm<sup>2</sup>

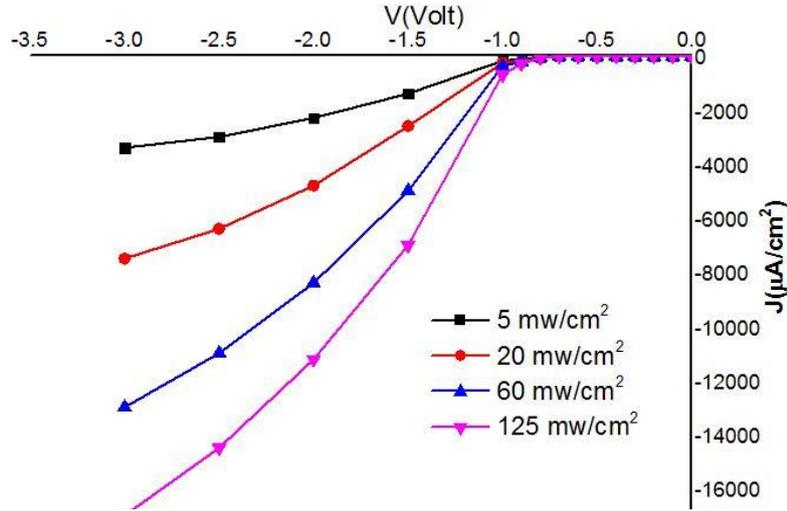


الشكل 7 : قياسات (J-V) في الاضاءة لعينة السليكون المسامي بعد ترسيب جسيمات الفضة النانوية عند زمن

5min وطاقة 400mJ وعند شدة اضاءة 5,20,60 and 125 mw/cm<sup>2</sup>

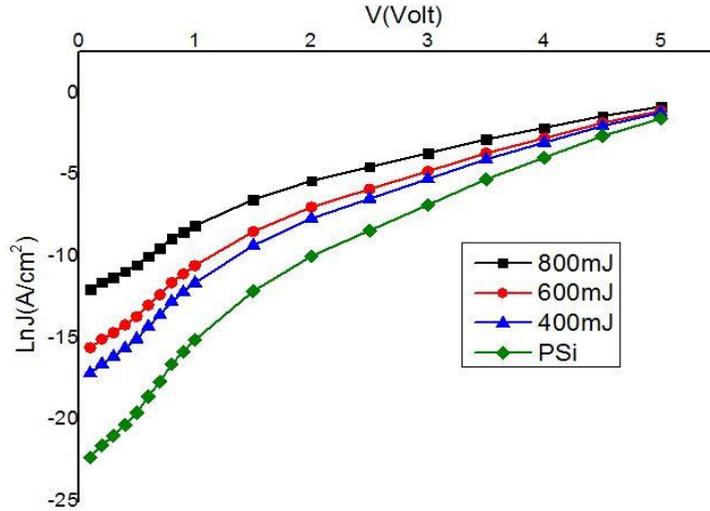


الشكل 8: قياسات (J-V) في الاضاءة لعينة السليكون المسامي بعد ترسيب جسيمات الفضة النانوية عند زمن 5min وطاقة 600mJ وعند شدة اضاءة 5,20,60 and 125 mw/cm<sup>2</sup>.



الشكل 9 : قياسات (J-V) في الاضاءة لعينة السليكون المسامي بعد ترسيب جسيمات الفضة النانوية عند زمن 5min وطاقة 800mJ وعند شدة اضاءة 5,20,60 and 125 mw/cm<sup>2</sup>.

يمكن الحصول على كثافة تيار الاشباع (Saturation Current density) من خلال تقاطع المنحني مع  $\ln J$  والموضح في الشكل (10) والذي يبين العلاقة بين  $\ln J$  و الفولتية المسلطة (V) , نلاحظ أن كثافة تيار الاشباع تزداد خطيا مع زيادة طاقة الليزر بسبب زيادة في كثافة الحاملات الاقلية (Minority carriers) وتوليد ازواج الكترون - فجوة بشكل فعال في المفرق [12] . يبين الجداول (1) و(2) قيم كثافة التيار الاشباع , عامل المثالية , الجهد الحاجز وكذلك والمقاومية التي تم الحصول عليها لعينات قيد الدراسة وجاءت تلك النتائج متوافقة مع البحوث المنشورة [ 13,14 ] .



الشكل 10: علاقة  $\ln J$  مع الفولتية  $V$  لعينات السليكون المسامي بعد ترسيب جسيمات الفضة النانوية عند زمن 5min, وعند طاقات 400,600and 800mJ.

جدول1: تيار التشبع العكسي , عامل المثالية , الجهد الحاجز , و المقاومة لعينة السليكون المسامي

t (min.)	$J_s$ (mA/cm <sup>2</sup> )	N	$(eV)\Phi$	$\rho(\Omega.cm)$
5	0.0002	2.92	0.716	$3.45 \times 10^6$

جدول2: تيار التشبع العكسي , عامل المثالية , الجهد الحاجز , و المقاومة لعينات السليكون المسامي بعد الاستئصال بالليزر عند طاقات (400,600 and 800mJ).

Laser energy (mJ)	$J_s$ (mA/cm <sup>2</sup> )	N	$(eV)\Phi$	$\rho(\Omega.cm)$
400	3.52	2.75	0.64	$9.26 \times 10^5$
600	15.43	2.71	0.621	$766 \times 10^5$
800	34.56	2.68	0.611	$5.65 \times 10^5$

#### الاستنتاجات

إن النتائج المستحصل عليها في هذا البحث تضيف رؤيا جديدة في مجال تحضير السليكون المسامي وبخصائص جديدة. تم في هذا البحث دراسة تفصيلية لجسيمات الفضة النانوية المرسبة على السليكون المسامي بطريقة الاستئصال بالليزر النبضي ( Laser ablation) وبطاقات مختلفة , اظهرا قياسات (فولتية - تيار ) بان كثافة التيار تزداد خطيا مع زيادة طاقة الليزر في حالتي الاضاءة والظلام كما تبين للنماذج المحضرة بان المقاومة قلت مع زيادة طاقة الليزر حيث كانت عند  $(3.45 \times 10^6 \Omega.cm)$  للسليكون المسامي في حين كانت عند قيم  $(9.26 \times 10^5 \Omega.cm)$  ,  $(7.66 \times 10^5 \Omega.cm)$  و  $(5.65 \times 10^5 \Omega.cm)$  عند طاقات 400mJ , 600mJ وكذلك 800mJ على التوالي فضلاً عن ذلك فان التراكيب النانوية للفضة تحسن من اداء السليكون المسامي.

#### شكر وتقدير

نود أن نعبر عن شكرنا وتقديرنا لكلية التربية للعلوم الصرفة / قسم الفيزياء في جامعة الموصل على التسهيلات التي كانت مفيدة للغاية في جودة عملنا.

**المصادر**

- [1] Sharon, E . J. , Nova Sci. publications INC.Newyork 7,9: 98-110 (2011).
- [2] Gelloz, B.,Mentek, R. and Koshlda , N.,J. Sol .Sci. and Tech. 3,5 :83-88(2014).
- [3] Basu, S. and Kaungo, A. , Electro. and Teleco. Engin.66,34: 48-65 (2011).
- [4] Hans, J.F. and Werner, M. , Wiley-VCH Verl. GmbH and Co. KGaA , Weinheim 72,45 (2003).
- [5] Khashan, K.S., Amany, A. and Mayasaa A. , J. Tech. ,27,4:663-674(2008).
- [6] Rafid Z., Ban K., Alauldeen S. and Haitham T. H., J. of Res. Lepid. 50,3:82-95(2019).
- [7] Raid, A. I. , Nahida, J. A. and Rand H.,S., J. Appl. .Nano, 7:109-116(2017).
- [8] Maithm, A. O. , Suha, A. F. and Ahmed , N . A. , Appl. Sol. state tech., 63, 5 (2020) .
- [9] Williams, R. and Rhoderick, E.H., Claredon Press, Oxford ,England (1988).
- [10] Kulathuraan , K., Mohanraj, K. and Natarajan , B. , J. Spec. , 152:51-57(2015).
- [11] Ahmed, N.A. , Nadir, F. H. , Ali H. R. and Hazim , L., J. Nano and Mater. , 11,3:241-248(2018).
- [12] Warood K. , Luma H., Mohanad Gh. J. of South. Jiao., 54,5: 344-356(2019).
- [13] Algun,G. , Arkian, M. , Turk.J.Phys.,23,5 : 789-797(1999).
- [14] Naderi, N. and Hashim, M., Inter. J. Electrochem.Sci.,7,4 : 11512-11518 (2012).