مجلة أبحاث كلية التربية الأساسية ، المجلد ١٧، العدد (٢)، لسنة ٢٠٢١

College of Basic Education Researchers Journal

ISSN: 7452-1992 *Vol. (17), No.(2), (2021)*

تأثير زمن التنميش على مورفولوجية سطوح زرنيخيد الغاليوم المنتجة بطريقة التنميش الكيميائي الضوئي باستخدام ضوء الشمس*

اسلام ناصر يوسف **أ.م.د. حسين علي محمد** **م.د. حسن عسكر كاظم**

قسم الفيزياء ، كلية التربية للعلوم الصرفة ، جامعة كركوك الكلية التربوية المفتوحة ، مركز كركوك

(قدم للنشر في ٢٢/ ٩/ ٢٠٢٠ ، قبل للنشر في ٨/ ١١ /٢٠٢٠)

الملخص

تم تحضير زرنيخيد الغاليوم المسامي (Porous GaAs) من شرائح زرنيخيد الغاليوم البلوري نوع (n-type) وذات اتجاه بلوري (١١١) ومقاومية (0.00245 Ω-cm) عن طريق التنميش الكيميائي الضوئي باستخدام ضوء الشمس كمصدر ضوئي وذلك لتميزها على العديد من مصادرها الصناعية الاخرى كالمصابيح الكهربائية المختلفة (مصباح الهالوجين، مصباح التنكستن) والمصادر الضوئية المختلفة في الليزر، وتم دراسة تأثير زمن التنميش على المورفولوجية السطحية لزرنيخيد الغاليوم باستخدام مجهر القوة الذرية (AFM)، وبينت النتائج إمكانية الحصول على طبقات من زرنيخيد الغاليوم المسامي ذات طبيعة سطح مختلفة عند تغيير أزمنة التنميش (50 min، 40 min، 30 min) وثبات كل من تركيز حامض الهيدروفلوريك عند (HF 40%) وشدة الإضاءة عند (8901 mw/cm^2)، حيث تكونت طبقات مسامية بسمك (31.70 nm، 30.13 nm، 15.28 nm) وبمعدل أقطار للحبيبات والجسيمات النانوية (64.31 nm، 98.73 nm، 80.26 nm) على التوالي، وإن كل من الخشونة السطحية وسمك الطبقة المسامية

(*) مستل من رسالة ماجستير الباحث الاول.

ISSN: 7452-1992 *Vol. (17), No.(2), (2021)*

للشرائح المحضرة تزداد عند زيادة زمن التنميش وتقل عند نقصان زمن تنميشها، وُوجد ان إنتاج تراكيب زرنيخيد الغاليوم المسامي النانوي ذات ضرورة مهمة للحصول على سطح بمواصفات مميزة من أجل استخدامها في نبائط الالكترونات الضوئية والخلايا الشمسية.

الكلمات المفتاحية: التنميش (The Etching)، مورفولوجية السطح (Surface Morphology)، زرنيخيد الغاليوم المسامي (Porous GaAs)، التنميش الكيميائي الضوئي (Photochemical Etching)، التألق الضوئي (Photoluminescence)، الخشونة (Roughness)، النانو تكنولوجي (Nano Technology).

Effect of etching time on gallium arsenide surfaces morphology produced by photochemical etching method using sunlight

Islam Nasser Yousif Hussein Ali Mohammed Hassan Asker Kadhem

[1]Physics department, College of Education for Pure Sciences, University of Kirkuk

[2]Physics department, College of Education for Pure Sciences, University of Kirkuk

[3]Open Educational College, Kirkuk Center

Abstract

Porous gallium arsenide has been prepared from wafers of crystalline gallium arsenide type (n-type) with crystallographic orientation (111) and resistivity (0.00245 Ω-cm) by photochemical etching using sunlight as a light source to distinguish it from its other industrial sources such as different light bulbs

(Halogen lamp, Tungsten lamp) and the various light sources in laser. The effect of etching time on surface morphology of GaAs was studied by atomic force microscope (AFM). The results showed the possibility of obtaining layers of porous gallium arsenide of different surface nature when changing the etching times (50 min, 40 min, 30 min) and the constancy of acid concentration at (HF 40%) and illumination intensity at (8901 mw/cm^2) porous layers are formed with thicknesses (31.70 nm, 30.13 nm, 15.28 nm) and with average diameters of granules and nanoparticles (64.31 nm, 98.73 nm, 80.26 nm) respectively. Both the surface roughness and the thickness of the porous layer of the prepared wafers increased when the etching time increased and decreased when the etching time decreased. It has been found that the production of nanoporous gallium arsenide structures is essential to obtain a surface with distinctive specifications for use in photoelectrons devices and solar cells.

المقدمة

أدى اكتشاف ظاهرة التألق الضوئي (Photoluminescence) في الشرائح المحضرة بطريقة التنميش الكهروكيميائي [1]، إلى الاهتمام بالبنى المسامية لأنصاف النواقل المركبة III-V مثل (GaAs) [2]، وبروز فكرة تنميش أسطح شرائح زرنيخيد الغاليوم (GaAs wafers) لما لها من تأثير كبير في تحسين وإنتاج النبائط ذات الاستخدامات الواسعة، حيث إن عمليات التنميش المستخدمة في تحضير شرائح زرنيخيد الغاليوم تؤدي الى تقليل احجام الجسيمات عن مائة نانومتر (النانومتر جزء من الف مليون من المتر) بحيث تعطي للمادة خصائص تركيبية جديدة وهذا ما يوصلنا الى ما يسمى بتقنية النانو [3]، وتمتاز مواد المركبات الثلاثية–الخماسية (III-V) بفجوة طاقة مباشرة، مما يجعله مفيدًا جدًا للاستخدام بالعديد من

تطبيقات الإلكترونيات الضوئية [٢]، مثل الليزر والثنائيات الباعثة للضوء لأنه يساهم بشكل جيد في انبعاث الضوء وفي صنع رقائق الدوائر المتكاملة والخلايا الشمسية [٤]، وبالإمكان التحكم بالخواص الهندسية للمادة بالاعتماد على حجمها، ويتم تصنيع الحجم النانوي للجسيمات المشكلة عند حدوث عمليات التنميش على سطح الشريحة إما من الأعلى الى الأسفل أو من الأسفل الى الأعلى [6,5].

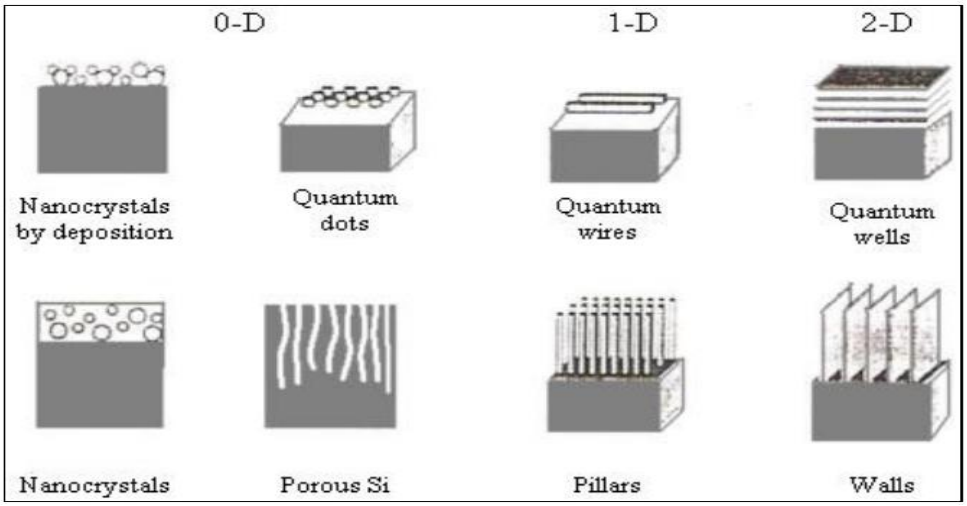
إن شرائح زرنيخيد الغاليوم المنمشة يمكن استخدامها كمفارق (Diodes) أو كواشف (Detectors) في العديد من تطبيقات النبائط الإلكتروضوئية والنبائط الكهروضوئية والتطبيقات الفوتونية [8,7].

الجانب النظري Theoretical Part

زرنيخيد الغاليوم المسامي النانوي Nanoporous GaAs

يمكن إنتاج المسام في أشباه الموصلات أحادية البلورة في مجموعة واسعة من الأشكال الهندسية والتشكيلية، بما في ذلك نظام النانومتر، وإن لأشباه الموصلات المسامية خواصها المختلفة تمامًا [9]، من حيث سمك الطبقة المسامية وخشونة سطحها [21]، ويُظهر زرنيخيد الغاليوم فجوة طاقة مباشرة، ولذلك فإنه من المهم للغاية دراسة الآثار المسامية على عملية انبعاث الضوء من هذه المادة، حيث تعمل فحوصات التألق الضوئي على ايضاح سلوك التراكيب المسامية المتكونة على سطحها [10]، وتتكون المواد النانوية من إطار عضوي أو غير عضوي منتظم يدعم بنية منتظمة ومسامية، ويكون حجم المسام عمومًا ١٠٠ نانومتر أو أصغر، واجتذبت المواد المتناهية الصغر اهتمامًا كبيرًا بسبب خصائصها المسامية، والتي يمكن ان يستفاد من تشكيلاتها المسامية النانوية حسب التطبيقات المطلوبة [11]، وتم إجراء اختبارات على العمليات الموصولة ضوئيًا على سطح أشباه الموصلات النانوية مثل زرنيخيد الغاليوم الذي أظهر إمكانية للتغيير والسيطرة على خصائص التألق الضوئي تحت إشعاع الليزر بواسطة الأشعة تحت الحمراء والضوء المرئي [12]، ومن الأساليب والطرق التي استخدمت لإنتاج التراكيب النانوية لزرنيخيد الغاليوم هي تقنيات التنميش الكيميائية الضوئية والكهروكيميائية، حيث تم الحصول على تشكيلات نانوية لزرنيخيد الغاليوم بأشكال مختلفة

مثل الآبار الكمومية والأسلاك النانوية والنقاط الكمومية وجزيئات النقطة الكمومية وحلقات الكم والأقراص النانوية والأقطار النانوية والأقطاب النانوية وكما هو موضح في الشكل (١)، وإن تطوير زرنيخيد الغاليوم المسامي المنتج مرتبط بتفاعل يشبه الحفر ويبين أدوار العيوب السطحية [13].

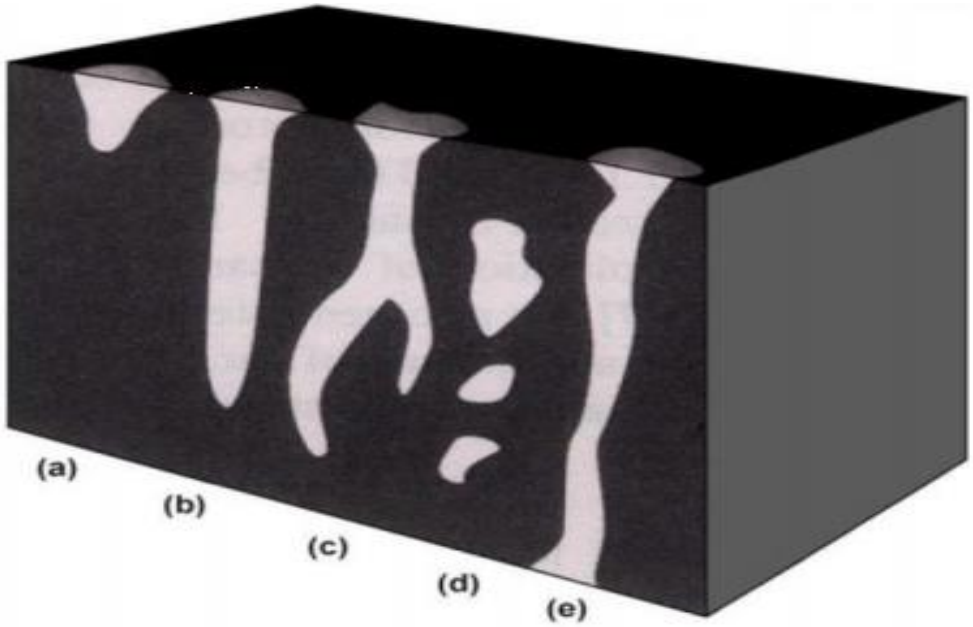


شكل (١): تمثيل تخطيطي لنماذج التراكيب البلورية النانوية [14].

مورفولوجية السطح Surface Morphology

السطح المورفولوجي هو عبارة عن مجموعة فرعية من التصوير التحليلي، وهو شكل متقدم من أشكال التصوير المكاني العالي الدقة الذي يستخدم المجاهر المتطورة لإنتاج صور من المنتجات والعينات والأشياء التي لا يمكن رؤيتها بالعين المجردة، وتنشأ هذه الصور من السطح المكشوف للعينة أو المنتج [15]، وإن دراسة المورفولوجية السطحية بالنسبة للمواد تعد ذات أهمية كبيرة للتمييز بين وجوه التشكل السطحي من حيث التركيب، وعلم البلورات للأسطح الخالية من العيوب، والبنية الدقيقة، وتوزيع عيوب الخطوط والخطوط التي تقاطع تلك الصورة البلورية المثالية، بالإضافة إلى تفسير خواص وسلوك المادة، حيث تمتاز المواد النانوية عن غيرها من المواد التقليدية بارتفاعات المساحات السطحية ووجود معظم ذراتها

على تلك السطوح؛ وذلك لان جميع الانشطة والتغيرات الفيزيائية والكيميائية تحدث دائما على السطح، وتعتمد خشونة السطح للخصائص المورفولوجية على مقياس طول الملاحظات أو القياسات لفهم البنية الدقيقة للمواد وكيفية توزيع الذرات وترتيبها على السطح [16]، وان من اكثر الطرق المفيدة لدراسة مورفولوجية الأسطح هي طريقة الفحص المجهري الذري (AFM) [17].



الشكل (٢): رسم تخطيطي لمورفولوجية أنواع المسامات المشكلة على الطبقة المسامية: (a) ضحلة صغيرة، (b) طويلة بعمق كبير، (c) مترابطة، (d) مسام مغلق داخل الركيزة، (e) مسام مفتوح عابر الركيزة [18].

طرائق تحضير زرنيخيد الغاليوم المسامي النانوي

Preparation Methods of Nanoporous GaAs

١. التنميش الكيميائي الضوئي Photochemical etching
٢. التنميش الكهروكيميائي الضوئي Photo-electrochemical etching
٣. التنميش الكهروكيميائي Electrochemical etching
٤. التنميش بالليزر Laser etching

٥. التنميش بالتبقيع Stain etching

وان الطريقة التي استخدمت في تحضير شرائح زرنيخيد الغاليوم في هذا البحث هي طريقة التنميش الكيميائي الضوئي.

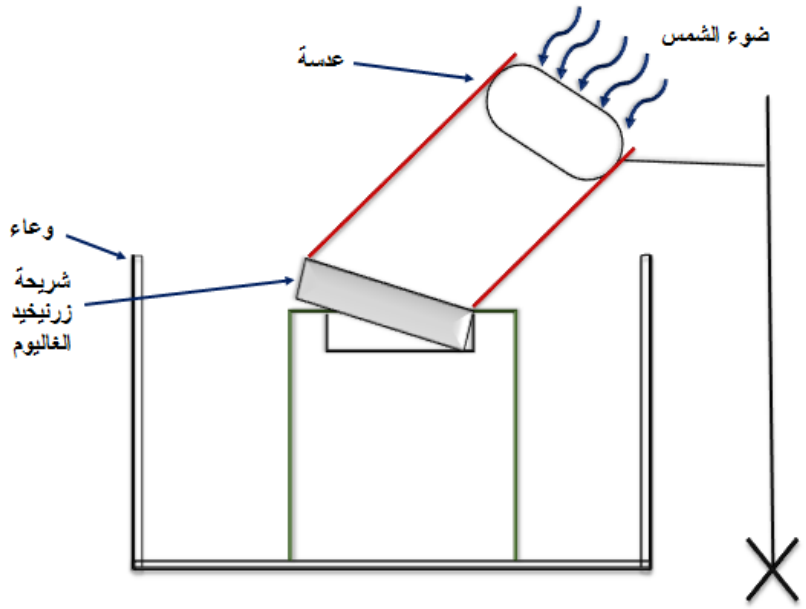
التنميش الكيميائي الضوئي Photochemical Etching

يتفاعل سطح زرنيخيد الغاليوم عند تحضيره مع المحلول الحامضي المستخدم، وإن أول ملاحظة تم الإبلاغ عنها لعملية التنميش الكيميائي الضوئي كانت لمواد أشباه الموصلات III –V، ويمكن جعل زرنيخيد الغاليوم من نوع n منمشًا بشدة أو تقليل تنميشه وكذلك الحال بالنسبة لزرنيخيد الغاليوم من نوع p، حيث يستمر بعملية التنميش بمعدلات ثابتة وغير منقوصة عندما يكون تحت تأثير نفس الظروف، وبسبب الاختلاف في مواقع مستوى سطح فيرمي للعينات الموجودة في درجات حرارة مختلفة؛ يُعتبر التنميش الكيميائي الضوئي لزرنيخيد الغاليوم مستمرًا [19].

واستخدم مصباح الزئبق ذو الضغط المنخفض كمصدر للضوء فوق البنفسجي العميق، حيث يستخدم هذا الضوء لمعرفة الطيف النانوي، وتحدد جودة وكفاءة التنميش في درجة حرارة الغرفة في نطاق الطول الموجي من (105 nm) إلى (300 nm) على شرائح زرنيخيد الغاليوم ذات التوجه البلوري (100)، وإن الكفاءة المثلى لتحفيز حوالي ١٠٠ ذرة من Ga و As وإزالتها لكل فوتون عند طول موجي قدره (122 nm) يكون بحوالي (1.5 mbar)، ويمكن تحسين كفاءة ونوعية التنميش عن طريق الامتصاص الإضافي بأطوال موجية طويلة خاصة مع الليزر [20].

الجانب العملي Experimental part

تم تحضير شرائح زرنيخيد الغاليوم من نوع n-type وذات اتجاه بلوري ٠.٥°±[١١١] ومقاومية (0.00245 Ω-cm)، وقطعت بأبعاد تصل تقريبًا إلى (1 cm x 0.5 cm)، وتم تهيئتها لتحضير عينات زرنيخيد الغاليوم المسامي، وان عملية التنميش الكيميائي الضوئي تعتبر من العمليات التي لا تتوفر فيها اقطاب كهربائية، أي بما معناه أنه لا توجد فولتية مجهزة أو تيار مسلط خلال عمليات التنميش، حيث تعتمد حركة الفجوات فيها على انسياب الشحنات الموجبة فيها، ويتم مسك الشرائح وحملها عن طريق ملقط لا يتفاعل مع الحوامض أو المواد الاخرى، وتوضع في حامض الهيدروفلوريك المخفف (HF 10%) لمدة تسع دقائق وذلك لإزالة طبقات الاوكسيد العالقة بها، وبعد ذلك تغمس العينة وتغسل بالأسيتون والايثانول لمدة خمس دقائق لإزالة ما تبقى من الـ HF أو الشوائب العالقة بها إن وجدت، ومن ثم تترك العينة لتجف، وتغمر الشرائح داخل وعاء من التفلون عند أزمنة تنميش مختلفة (30 min ،40 min ،50 min) عند ثبات كل من تركيز حامض الهيدروفلوريك عند (HF 40%) وشدة الإضاءة عند (8901 mw/cm^2)، وبالإمكان حساب شدة الإضاءة لكل (cm^2) للعدسة اللامة المستخدمة في عملية تحضير الشرائح ذات القطر (90 mm) من خلال ضرب مساحة العدسة الكلية في شدة الاشعاع الشمسي، حيث تم اعتماد قيمة متوسط شدة الاشعاع (١٤٠٠ w/m^2)، وعند أخذ هذه القيمة لكل cm^2 تصبح قيمة متوسط شدة الاشعاع (mw/cm^2 ١٤٠)، وتستقر الشريحة على مسندين من نفس المادة (التفلون) بصورة مائلة، بحيث يغطي محلول HF وجه العينة المشابه للمرأة والمثبتة باتجاه المصدر الضوئي (الشمس)، والذي بدوره يجهز شدة إضاءة مناسبة مأخوذة من المصدر الضوئي (الشمس) مما يؤدي إلى تكوين وتشكيل طبقة مسامية نتيجة لتوليدها التيار المطلوب لتدعيم عملية التنميش الناشئة من حركة الشحنات الموجبة (الفجوات) من خلال ملاحظة ظهور فقاعات على سطح شريحة زرنيخيد الغاليوم والتغير في لونها، حيث تنتقل هذه الشحنات من السطح السفلي المظلم للعينة (غير المنمش) باتجاه السطح العلوي المعرض للضوء (المنمش).

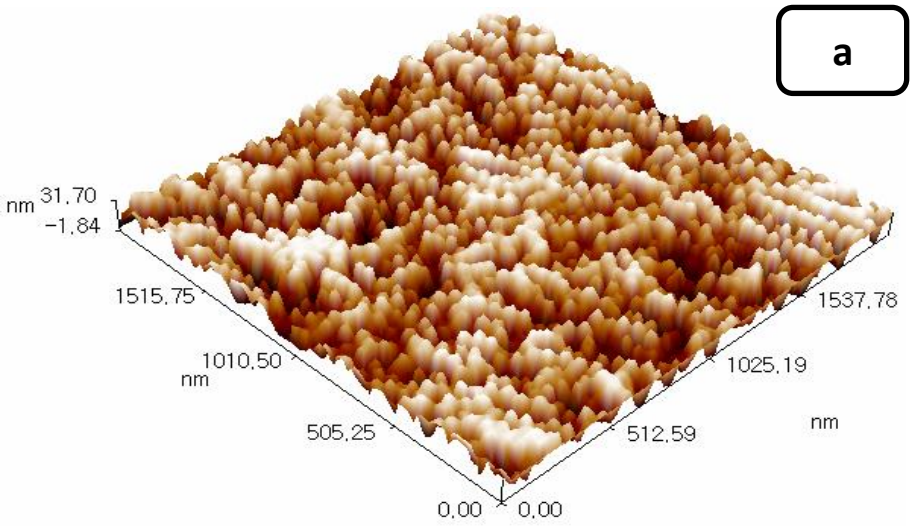


الشكل (٣): رسم تخطيطي لمنظومة التنميش الكيميائي الضوئي.

تأثير زمن التنميش على مورفولوجية الطبقة المسامية لزرنيخيد الغاليوم

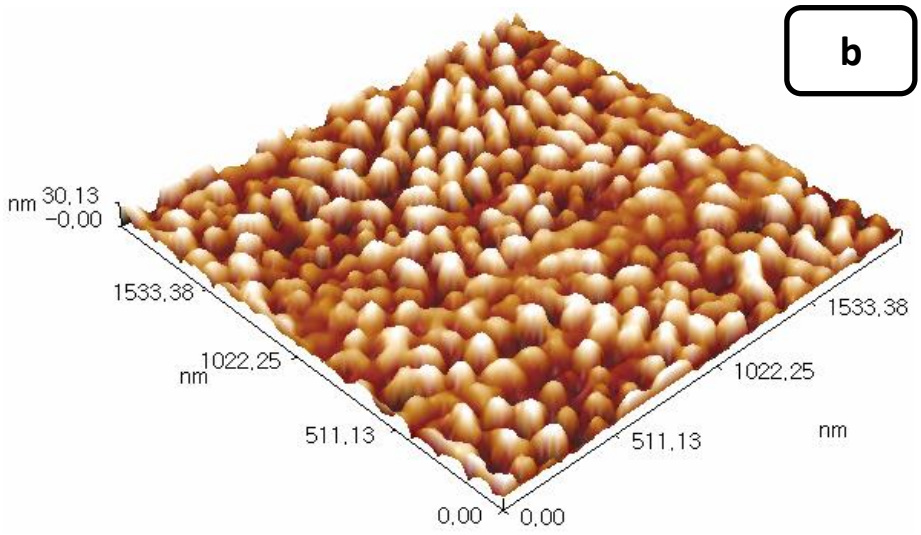
The effect of etching time on morphology of the porous GaAs layer

تم تحضير ثلاث عينات من شرائح زرنيخيد الغاليوم عند استخدام أزمنة تنميش مختلفة (50 min، 40 min، 30 min) وثبات كل من تركيز الحامض عند (HF 40%) وشدة الإضاءة عند (8901 mw/cm^2) وكما يلي:



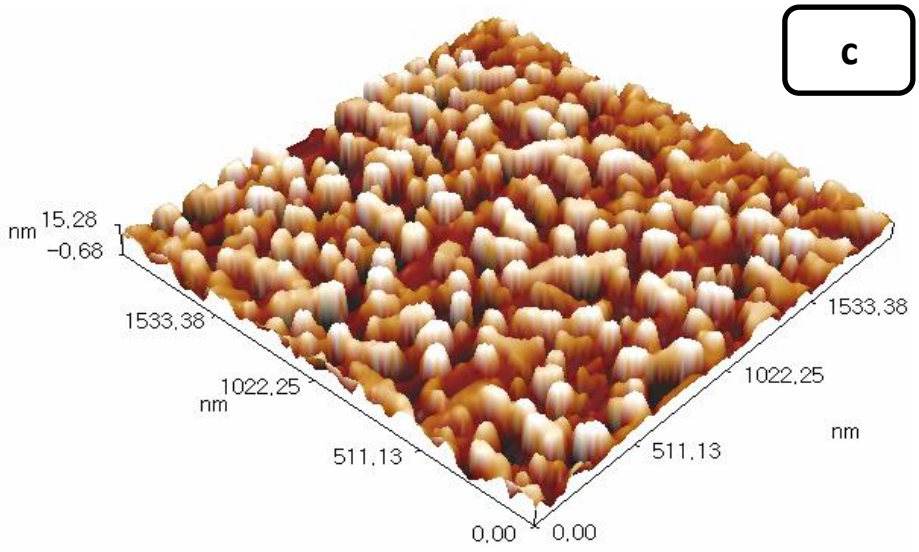
Amplitude Parameters:

Sa(Roughness Average)	7.57 nm
Sq(Root Mean Square)	8.88 nm
Ssk(Surface Skewness)	-0.287
Sku(Surface Kurtosis)	2.02
Sy(Peak-Peak)	33.5 nm
Sz(Ten Point Height)	19.4 nm



Amplitude Parameters:

Sa(Roughness Average)	6.33 nm
Sq(Root Mean Square)	7.54 nm
Ssk(Surface Skewness)	-0.117
Sku(Surface Kurtosis)	2.11
Sy(Peak-Peak)	30.1 nm
Sz(Ten Point Height)	16.3 nm



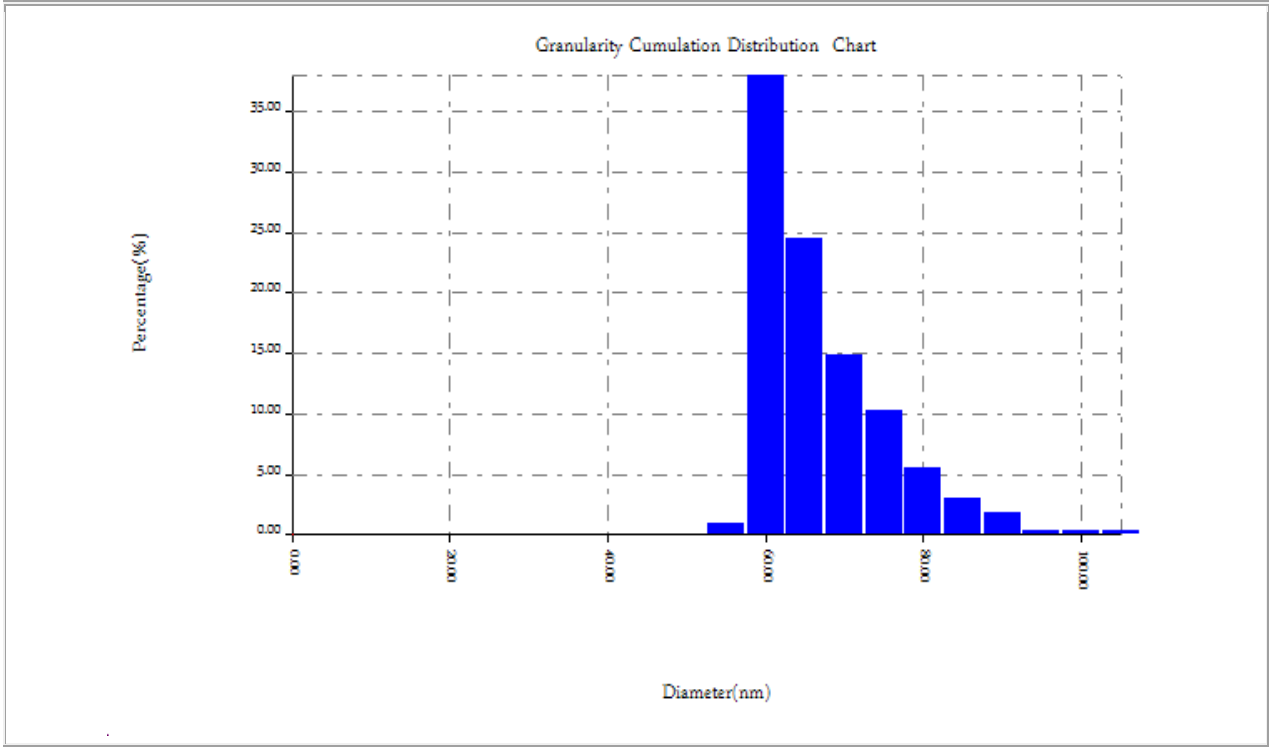
Amplitude Parameters:

Sa(Roughness Average)	3.99 nm
Sq(Root Mean Square)	4.61 nm
Ssk(Surface Skewness)	$6.6e^{-005}$
Sku(Surface Kurtosis)	1.8
Sy(Peak-Peak)	16 nm
Sz(Ten Point Height)	15.9 nm

الشكل (a,b,c-4): عينات من شرائح زرنيخيد الغاليوم عند العمل عليها تحت نفس ظروف التحضير من حيث تركيز الحامض (HF 40%) وشدة إضاءة ($8901\ mw/cm^2$) وبأزمنة تنميش مختلفة (a: 50 min)، (b: 40 min)، (c: 30 min).

Avg. Diameter:64.31 nm	**<=10% Diameter:55.00 nm**
<=50% Diameter:60.00 nm	**<=90% Diameter:75.00 nm**

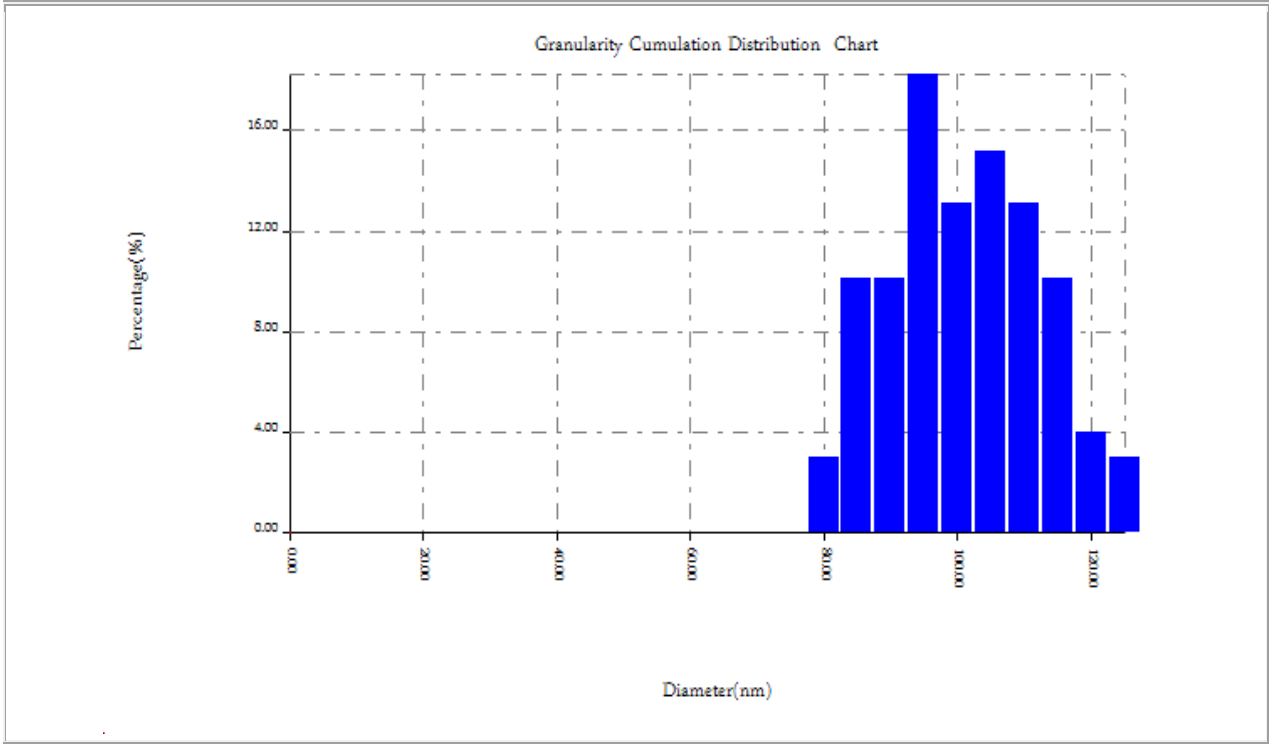
Diameter(nm)<	Volume(%)	Cumulation(%)	Diameter(nm)<	Volume(%)	Cumulation(%)	Diameter(nm)<	Volume(%)	Cumulation(%)
55.00	0.93	0.93	75.00	10.25	88.51	95.00	0.31	99.38
60.00	37.89	38.82	80.00	5.59	94.10	100.00	0.31	99.69
65.00	24.53	63.35	85.00	3.11	97.20	105.00	0.31	100.00
70.00	14.91	78.26	90.00	1.86	99.07			



الشكل (5): التوزيع الاحصائي لأحجام الجسيمات والحبيبات النانوية المشكلة على سطح العينة (a) في الشكل (٤).

Avg. Diameter:98.73 nm	**<=10% Diameter:80.00 nm**
<=50% Diameter:95.00 nm	**<=90% Diameter:110.00 nm**

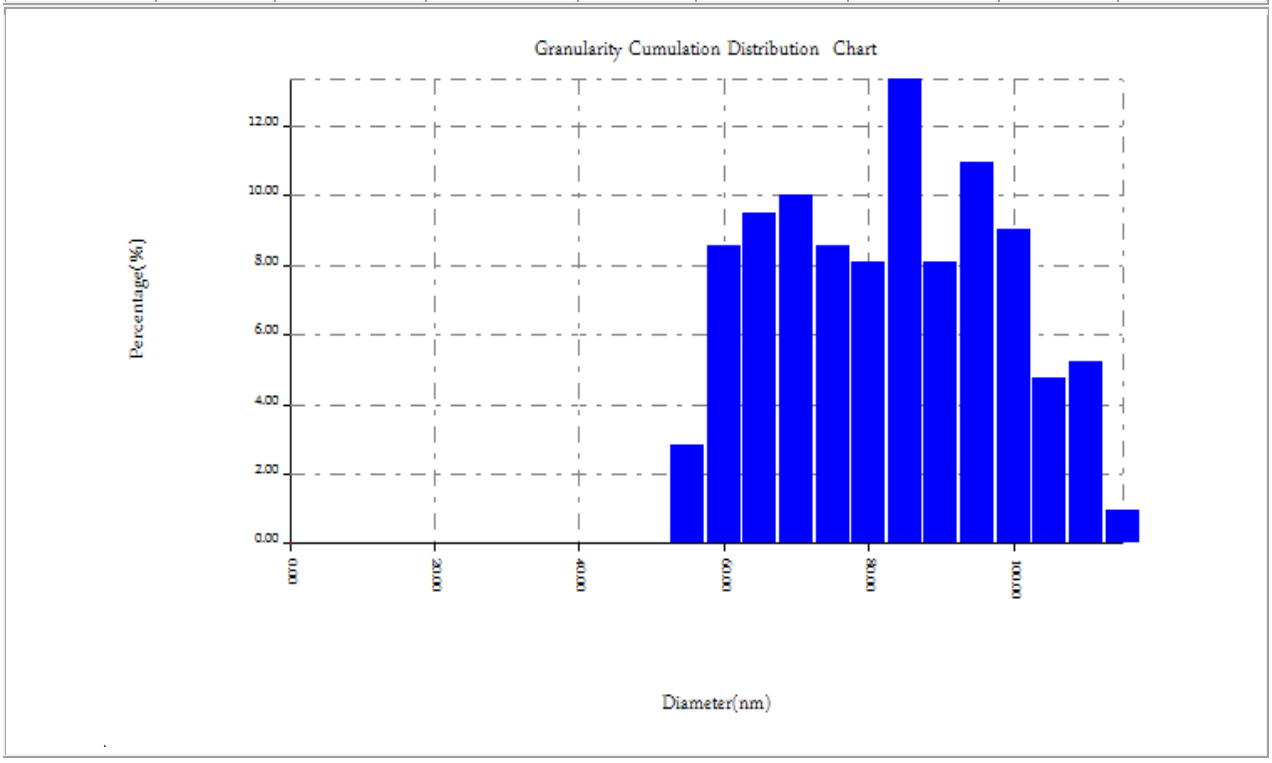
Diameter(nm)<	Volume(%)	Cumulation(%)	Diameter(nm)<	Volume(%)	Cumulation(%)	Diameter(nm)<	Volume(%)	Cumulation(%)
80.00	3.03	3.03	100.00	13.13	54.55	120.00	4.04	96.97
85.00	10.10	13.13	105.00	15.15	69.70	125.00	3.03	100.00
90.00	10.10	23.23	110.00	13.13	82.83			
95.00	18.18	41.41	115.00	10.10	92.93			



الشكل (٦): التوزيع الاحصائي لأحجام الجسيمات والحبيبات النانوية المشكلة على سطح العينة (b) في الشكل (٤).

Avg. Diameter:80.26 nm	**<=10% Diameter:55.00 nm**
<=50% Diameter:80.00 nm	**<=90% Diameter:100.00 nm**

Diameter(nm)<	Volume(%)	Cumulation(%)	Diameter(nm)<	Volume(%)	Cumulation(%)	Diameter(nm)<	Volume(%)	Cumulation(%)
55.00	2.86	2.86	80.00	8.10	47.62	105.00	4.76	93.81
60.00	8.57	11.43	85.00	13.33	60.95	110.00	5.24	99.05
65.00	9.52	20.95	90.00	8.10	69.05	115.00	0.95	100.00
70.00	10.00	30.95	95.00	10.95	80.00			
75.00	8.57	39.52	100.00	9.05	89.05			



الشكل (٧): التوزيع الاحصائي لأحجام الجسيمات والحبيبات النانوية المشكلة على سطح العينة (c) في الشكل (٤).

النتائج والمناقشة Results and Discussion

تم استخدام مجهر القوة الذرية (AFM) لدراسة المورفولوجية السطحية لزرنيخيد الغاليوم المسامي النانوي المنتج بطريقة التنميش الكيميائي الضوئي، وذلك ليبين لنا طبيعة سطحها المسامي وتركيبها البلوري ودراسة تأثير زمن التنميش على مساميتها السطحية، مما يمكننا من حساب سمك الطبقة المسامية للشرائح المنتجة، وشكل تركيبها البلوري، وحجمها الحبيبي لمعرفة معدل قطرها ومدى الاقطار التي تتراوح فيها، ومعدل خشونة سطحها (Roughness Average)، وقيمة متوسط جذرها التربيعي (Root Mean Square)، وقيمة التواء سطحها (Surface Skewness).

تُظهر نتائج تحليل مجهر القوة الذرية (AFM) الموضحة في الشكل (٤-a) تأثير زمن التنميش على مورفولوجية سطح الطبقة المسامية المنتجة عندما تكون خصائص الشريحة نفسها وتشابه ظروف التحضير عند ثبات كل من تركيز الحامض عند (HF 40%) وشدة إضاءة عند ($8901\ mw/cm^2$) والتي تبقى معرضة لهذه الظروف لمدة (50 min)، وتتشكل طبقة مسامية سمكها (31.70 nm)، وبتراكيب شبه كروية ذات رؤوس حادة وبمعدل قطر (64.31 nm) المبين في الشكل (٥)، ويوضح التوزيع الاحصائي للجسيمات والحبيبات النانوية المشكلة مدى لأقطار هذه الجسيمات والحبيبات تتراوح ما بين (55→105 nm)، وإن أعلى نسبة مئوية تبلغ (37.89 %) هي للجسيمات والحبيبات التي تكون بأقطار (60 nm)، في حين أن معدل الخشونة للسطح بلغ (7.57 nm)، وبلغت قيمة متوسط الجذر التربيعي (8.88 nm)، وأن التواء السطح يكون بمقدار (-0.287)، ومعدل المسافة الفاصلة بين قمة واخرى بلغ (33.5 nm)، ويساعدنا ذلك في الحصول على مورفولوجية سطحية يمكن استخدامها للتطبيقات المطلوبة.

وعند تعريض شريحة اخرى لزمن التنميش أقل (40 min) عندما تكون خصائص الشريحة وظروف التحضير جميعها مشابهة للشريحة السابقة، نلاحظ بأن نتائج تحليل مجهر القوة الذرية (AFM) الموضحة في الشكل (٤-b) تظهر تشكل طبقة مسامية سمكها (30.13 nm)، وبتراكيب شبه كروية، وبمعدل قطر

(98.73 nm) المبين في الشكل (٦)، ويبين التوزيع الاحصائي للجسيمات والحبيبات النانوية المشكلة مدى لأقطار تتراوح ما بين (80→125 nm)، وإن أعلى نسبة مئوية تبلغ (18.18 %) هي للجسيمات التي تكون بأقطار (95 nm)، في حين أن معدل الخشونة للسطح بلغ (6.33 nm)، وبلغت قيمة متوسط الجذر التربيعي (7.54 nm)، وأن التواء السطح يكون بمقدار (0.117-)، ومعدل المسافة الفاصلة بين قمة واخرى بلغ (30.1 nm).

وباستخدام زمن تنميش أقل (30 min) للعمل على شريحة اخرى عندما تكون خصائص الشريحة وظروف التحضير جميعها مشابهة للشرائح السابقة، تبين نتائج تحليل مجهر القوة الذرية (AFM) الموضحة في الشكل (٤-c) تشكل طبقة مسامية سمكها (15.28 nm)، وبتراكيب شبه كروية مسننة وبمعدل قطر (80.26 nm) المبين في الشكل (7)، والذي يظهر التوزيع الاحصائي للجسيمات والحبيبات النانوية المشكلة وبمدى أقطار تتراوح ما بين (55→115 nm)، وإن أعلى نسبة مئوية تبلغ (13.33 %) هي للجسيمات التي تكون بأقطار (85 nm)، وأن معدل الخشونة للسطح بلغ (3.99 nm)، وتعزى هذه القيمة القليلة للخشونة السطحية إلى الزمن القليل الذي استغرق في تحضير هذه العينة، وبلغت قيمة متوسط الجذر التربيعي (4.61 nm)، وأن التواء السطح يكون بمقدار ($6.6e^{-005}$)، ومعدل المسافة الفاصلة بين قمة واخرى بلغ (16 nm).

نستنتج من ذلك أن الخشونة السطحية وسمك الطبقة المسامية لهذه الشرائح المنمشة تزداد كلما زاد زمن التنميش وتقل عندما يقل زمن التنميش أي أن العلاقة بينهما طردية، وكذلك بالنسبة لكل من قيمة متوسط الجذر التربيعي ومعدل المسافة الفاصلة بين قمة واخرى يزدادان أيضًا عند زيادة زمن التنميش ويقلان أيضًا عند تقليل زمن التنميش، وقد يحدث تكتل للحبيبات النانوية نتيجة لاستمرار عمليات التنميش مما يؤدي إلى تغيير في احجام التراكيب النانوية للعينات المنمشة، فمعدل اقطار الجسيمات تتدرج من (60→95→85 nm)، وتكون ذات تراكيب واحجام مختلفة وبرؤوس حادة أو مدببة، حيث عند زيادة زمن التنميش تنتقل الشحنات الموجبة بشكل أكبر إلى السطح المنمش وتتم عملية التنميش والقلع باتجاهات متعددة على السطح وعلى الجوانب والجدران وبشكل عشوائي مما يؤدي إلى زيادة في حركة الفجوات وأعدادها

وبالتالي يؤدي ذلك إلى إنتاج وتشكيل جسيمات وحبيبات نانوية مختلفة، ونلاحظ أيضًا تفاوت في معدل أقطار هذه الجسيمات المنتجة للسطح المنمش عند زيادة أو تقليل زمن التنميش، وبما انه هنالك زيادة في الخشونة السطحية فان ذلك سوف يؤدي إلى زيادة المساحة السطحية والذي بدوره يساعد في زيادة التوليد الفوتوفولتائي.

الاستنتاجات والمقترحات Conclusions and Suggestions

الاستنتاجات Conclusions

١. يزداد سمك الطبقة المسامية للعينات المنمشة عند زيادة زمن التنميش نتيجة التفاعل الكيميائي الحاصل بين حامض الهيدروفلوريك مع سطح زرنيخيد الغاليوم وينتج عن هذا التفاعل تكوين فجوات وتحرير غاز الهيدروجين.
٢. تزداد الخشونة السطحية للعينات المنمشة عند زيادة زمن التنميش مما يؤدي الى تغير في كثافة مساماتها.
٣. الجسيمات أو الحبيبات النانوية المشكلة على سطح زرنيخيد الغاليوم المسامي تكون ذات تراكيب واحجام مختلفة وبرؤوس حادة أو مدببة.
٤. تزداد حركة الفجوات واعدادها وذلك نتيجةً لزيادة زمن تعريض الشريحة لضوء الشمس واستمرار عمليات التنميش مما يؤدي الى انتقال أكبر للشحنات الموجبة الى السطح المنمش.

المقترحات Suggestions

١- دراسة تأثير المقاومية والاتجاه البلوري على مورفولوجية سطوح زرنيخيد الغاليوم المنتجة بطريقة التنميش الكيميائي الضوئي.
٢- دراسة تأثير زمن التنميش على مورفولوجية سطوح زرنيخيد الغاليوم المنتجة بطريقة التنميش الليزري.
٣- تحضير زرنيخيد الغاليوم المسامي نوع p (p-type) بطريقة التنميش الكيميائي الضوئي.

المصادر References

[1] Canham, L. T. (1990). Silicon quantum wire array fabrication by electrochemical and chemical dissolution of wafers. Applied physics letters, 57(10), 1046-1048.

[2] Strite, S., & Morkoç, H. (1992). GaN, AlN, and InN: a review J. Vac. Sci. Technol. B, 10, 1237-66.

[3] Kandil, D. M. M. (2016). The role of nanotechnology in electronic properties of materials. Technical Report.

[4] Whitesides, G. M. (1988). Materials for advanced electronic devices. Biotechnology and Materials Science: Chemistry for the Future, American Chemical Society, Washington, DC, 85-99.

[5] علاء يوسف علي مصلح، " تصنيع ودراسة خصائص كاشف ضوئي نوع CdS على سليكون مسامي بطريقة الرش الكيميائي الحراري " (رسالة ماجستير) / كلية التربية للعلوم الصرفة / جامعة تكريت، ٢٠١١م.

[6] Zweck, D. A. (2004). Technological analysis. Future technologies division, Germany.

[7] Mamutin, V. V., Ulin, V. P., Tret'Yakov, V. V., Ivanov, S. V., Konnikov, S. G., & Kop'ev, P. S. (1999). Growth of cubic GaN by molecular-beam epitaxy on porous GaAs substrates. Technical Physics Letters, 25(1), 1-3.

[8] Kidalov, V. V., Sukach, G. A., Petukhov, A. O., Revenko, A. S., & Potapenko, E. P. (2003). Photoluminescent and structural properties of GaN thin films obtained by radical-beam gettering epitaxy on porous GaAs (0 0 1). Journal of luminescence, 102, 712-714.

[9] Föll, H., Carstensen, J., & Frey, S. (2005). Porous and nanoporous semiconductors and emerging applications. MRS Online Proceedings Library Archive, 876.

[10] Schmuki, P., Lockwood, D. J., Labbe, H. J., & Fraser, J. W. (1996). Visible photoluminescence from porous GaAs. Applied physics letters, 69(11), 1620-1622.

[11] Mishra, R., & Militky, J. (2018). Nanotechnology in Textiles: Theory and Application. Woodhead Publishing.

[12] BYKOVSKII, Y. A., Chistyakov, A. A., KARAVANSKII, V., KOTKOVSCII, G., & KUZNETSOV, M. (1999). Photoprocesses on the surface of nanoporous semiconductors. In Physics, Chemistry And Application Of Nanostructures (pp. 241-247).

[13] Bioud, Y. A., Boucherif, A., Belarouci, A., Paradis, E., Drouin, D., & Arès, R. (2016). Chemical composition of nanoporous layer formed by electrochemical etching of p-Type GaAs. Nanoscale research letters, 11(1), 446.

[14] Naddaf, M., & Awad, F. (2006). Porous silicon: Synthesis and optical properties (No. AECS-PH/RSS--680). Atomic Energy Commission.

[15] Megelski, S., Stephens, J. S., Chase, D. B., & Rabolt, J. F. (2002). Micro-and nanostructured surface morphology on electrospun polymer fibers. Macromolecules, 35(22), 8456-8466.

[16] Sahimi, M. (2003). Heterogeneous Materials: Nonlinear and breakdown properties and atomistic modeling (Vol. 2). Springer Science & Business Media.

[17] Gubanova, G. N., Sukhanova, T. E., Vylegzhanina, M. E., Lavrentiev, V. K., Romashkova, K. A., Kutin, A. A., ... & Kononova, S. V. (2017). Analysis of the surface morphology, structure and properties of polyamidoimide nanocomposites with tubular hydrosilicates. Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques, 11(5), 1022-1032.

[18] Rico, F. F. (2007). Fabricación y Caracterización de dispositivos basados en Silicio Poroso sobre c-Si. Aplicaciones eléctricas, Ópticas y Térmicas (Doctoral dissertation, Universitat Rovira i Virgili).

[19] Hirose, M., Yokoyama, S., & Yamakage, Y. (1985). Characterization of photochemical processing. Journal of Vacuum Science & Technology B: Microelectronics Processing and Phenomena, 3(5), 1445-1449.

[20] Li, B., Twesten, I., & Schwentner, N. (1993). Photochemical etching of GaAs with Cl_2 induced by synchrotron radiation. Applied Physics A, 57(5), 457-467.

[21] Ali, G. G., Karomi, I. B., Sulaiman, A. A., & Mohammed, A. M. (2020). Properties of P-type porous silicon bombarded by neutrons. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 468, 23-27.