

## دراسة تشكل الجزر ونموها في الأغشية على ركائز زجاجية بمجهر القوة الذرية

سهام الطرابيشي<sup>(1)</sup>

تاريخ الإيداع 2013/03/25

قبل للنشر في 2013/06/23

### الملخص

تُعرض في هذه الورقة دراسة بمجهر القوة الذرية لأغشية من ZnS وُضعت حرارياً بنحانات مختلفة على ركائز زجاجية. سُجّلت صور طبوغرافية لهذه الأغشية، وجدول تتضمن أهم برامترات معالمها، بمجهر القوة الذرية. ثم كُشف عن تشكل الجزر ونموها في أغشية بنحانات ضوئية مختلفة أو في نقاط مختلفة من الغشاء الذي يفترض تبعاً لطريقة التحضير أنه متجانس الثخانة الضوئية. ولهذا الغرض أُجري تحليل للجزر المتشكلة على سطوح الأغشية من خلال تطبيق برمجة لتجزئة السطح تسمح بالكشف عن المعالم المهمة فيه من قمم وقيعان. كما فرزت تلك الجزر ودرس توزع برامترات في النقاط المدروسة.

الكلمات المفتاحية: أغشية ZnS، مجهرية القوة الذرية، تشكل جزر ZnS ونموها، تجزئة السطح، فرز الجزر، توزع البرامترات.

<sup>(1)</sup> أستاذة، قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة دمشق، سورية.

## Study of Islands Formation and Growing in thin films by AFM

S. Al-Tarabichi<sup>(1)</sup>

Received 25/03/2013

Accepted 23/06/2013

### ABSTRACT

In this paper we present a study of ZnS thin films thermally deposited on glass substrates, with different optical thicknesses. On topography micrographs and feature parameters obtained by Atomic Force Microscope, we pursued the islands formation and growing in ZnS thin films even on the same optical thickness of the film. For doing so, we analyzed the micrographs surface, using Watershed Segmentation and Wolf pruning that allow the detection of significant features on surfaces, Grain sorting operator and Parameter Distribution Study.

**Keywords:** ZnS thin films, Atomic Force Microscopy, Islands formation and growing, Watershed segmentation, Grain Sorting, Parameters Distribution.

---

<sup>(1)</sup>Prof., Department of Physics, Faculty of Sciences, Damascus University, Syria.

## المقدمة

في هذه الورقة دراسة لتشكيل الجزر ونموها في أغشية من كبريت الزنك ZnS موضوعة حرارياً بثخانات مختلفة على ركائز من الزجاج، باستخدام مجهر القوة الذرية. وقد أجريت هذه الدراسة نظراً إلى الأهمية التطبيقية للأغشية عموماً ولأغشية ZnS خاصة.

كبريت الزنك مادة نصف ناقلة مهمة تتميز بعصاوية ممنوعة مباشرة عريضة 3.65eV في شكلها الجرمي [1]، وارتفاع كل من قرينة انكسارها (2.35) وثابت كهرفونديتها [2]. وتعدُّ أغشية كبريت الزنك الرقيقة العريضة العصاوية ذات الناقلية الكهربائية من النوع n- مرشحات واعدة في تطبيقات الإلكترونيات الضوئية كالتنائيات الضوئية المصدرة للضوء الأزرق [3]. كما يستخدم كبريت الزنك على نطاق واسع كمادة أساسية في مواد تألق أنابيب الأشعة المهبطية وفي المحفزات وفي أدوات التألق الكهربائي وفي الليزرات نصف الناقلية المصدرة للأشعة فوق البنفسجية المستخدمة في الحفر الحجري الضوئي [4,5]. تبدي بلورات كبريت الزنك خاصتي تألق ضوئي وتألق حراري عاليتين فوق درجة حرارة الغرفة. كما تجد البنيات النانوية المحضرة من كبريت الزنك تطبيقات مغرية في الأدوات النانوية الإلكترونية والإلكترونية الضوئية [5] وأدوات التألق الكهربائي والخلايا الفوتوفولتية [6] وغيرها.

### نماذج نمو الأغشية والكشف عنها

يرصد تجريبياً ثلاثة أنماط لنمو الأغشية [7] [11] [12] تعكس مباشرة مختلف أنواع الربط في الأجسام الصلبة. ومن ثمَّ يمكننا دراسة ما هو متوقع في حالة نمو المعادن فوق المعادن، والمعادن فوق البلورات الأيونية أو أنصاف النواقل، وأنصاف النواقل فوق أنصاف النواقل. وهذه الأنماط هي: نمط النمو الطباقى أو ما يدعى نمط نمو-Frank-van der Merwe الذي يحدث عندما تتجذب ذرات المادة المتوضعة إلى الركيزة بشكل أكبر من تجاذبها فيما بينها، ونمط النمو العنقودي أو الجزري Volmer-Weber عندما تكون قوة ارتباط الذرات فيما بينها أكبر بكثير من ارتباطها بالركيزة، وأخيراً نمط النمو الذي يجمع بين نمطي النمو الطباقى والنمو الجزري أو Stranski-Krastanov (SK) الأكثر شيوعاً. إذ تتشكل الطبقات أولاً في هذا النمط الأخير، ثم تتعب الجملة لسبب أو لآخر من هذه الرتابة وتنتقل نحو الجزر.

يُكشفُ عن الجزر المتشكلة في الأغشية بتطبيق خوارزمية تقسيم حوض الصرف Watershed segmentation وتقليم ولف Wolfpruning الملحقة بالمعيار ISO25178 المتبع في البرمجيات الملحقة بالمجهر [9] [10]. حيث يتم بموجب هذه البرمجيات تقسيم السطح إلى جزر (قمم وحفر). وتحسب برامترات معالم سطح عينة جميعها بعد تعرفها

من خلال دمج النماذج التي يقل ارتفاعها عن 5% من قيمة الارتفاع الأعظمي Sz بالنماذج المجاورة ذات الارتفاع الأعلى. تسمح لنا تجزئة السطوح بهذه الطريقة بالكشف عن المعالم المهمة عليها وتوصيف هذه المعالم بدلالة أبعادها أو مساحتها أو حجمها أو القيم الوسطية لانحناءات قممها أو أشكالها أو مورفولوجيتها. توفر لنا هذه الأدوات الجديدة طريقة فعالة في تحديد وظائف السطوح كاحتباس الموائع مثلاً. من البرامترات التي نتعرف من خلالها معالم السطح نذكر:

(1) **كثافة القمم Density of peaks, Spd**، وهي عدد القمم في واحدة المساحة:

$$S_{pd} = \frac{\text{Number of local Maximums}}{(M-1)(N-1)dxdy}$$

إذ  $M$  عدد عناصر الصورة pixels (البكسلات) وفق أحد محوري وحدة المساحة، و  $N$  عدد عناصر الصورة وفق المحور الآخر لوحدة المساحة، و  $\delta x$  و  $\delta y$  بعدا عنصر الصورة.

يكشف عن البرامتر Spd في المعيار المذكور بالنسبة إلى ثماني نقاط مجاورة ولا يؤخذ في الحسبان إلا القمم المهمة.

(2) **الوسط الحسابي لانحناءات للقمم Arithmetic mean peak curvature, Spc**

وهو الوسط الحسابي للانحناءات الرئيسية للقمم ضمن مساحة محددة. ويعرّف بالشكل:

$$S_{pc} = \frac{-1}{2n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{d^2 z(x, y)}{dx^2} \right) + \left( \frac{d^2 z(x, y)}{dy^2} \right)$$

أخذين في الحسبان النهايات العظمى الموضعية جميعها. يمكننا هذا البرامتر من معرفة الشكل الوسطي للقمم: إما مدببة في حالة القيم الصغيرة لهذا البرامتر أو مدورة في حالة قيمه الكبيرة.

#### العينات المدروسة

أغشية من ZnS، بسماكات ضوئية مختلفة 50nm و 200nm و 300nm على ركائز من الزجاج، محضرة في الضغط  $7.5 \times 10^{-6}$  mbar وقد كانت حوامل الركيزة المسخنة إلى الدرجة  $150^\circ \text{C}$  التي تبعد 18cm عن منبع التبخير، موصولة بمحرك كهربائي لتدوير الركيزة في أثناء توضع الغشاء لضمان تجانسية ثخانتها المقيسة بحساس من الكوارتز [8].

## أدوات القياس

مجهر القوة الذرية، الكابول المستخدم في القياسات AFM Probe Model: Tap190-G. طرفه المقابل لحزمة الكشف الليزرية مغطى بغشاء محرز من الألمنيوم لزيادة الانعكاس. تواتر اهتزاز الكابول  $190\text{kHz} \pm 60\text{Hz}$ ، وثابت قوة النابض  $48\text{ N/m}$ ، نصف قطر النهاية المدببة  $>10\text{ nm}$ . وقد شغل مجهر القوة الذرية وفق النمط الـديناميكي، والصورة الحاصلة أبعادها  $10\mu\text{m} \times 10\mu\text{m}$  فما دون، تمثل في حالتنا طبوغرافية السطح.

## مواد البحث وطرائقه

(1) إجراء صور طبوغرافية لثلاثة أغشية من ZnS في ثلاث نقاط من الأول  $50\text{nm}$ ، وأربع نقاط من الثاني  $200\text{nm}$ ، وأربع نقاط من الثالث ( $300\text{nm}$ )، ورصد للأحجام الفيزيائية لكل من صور هذه النقاط. وقد جرى اختيار هذه النقاط بالاستعانة بالكاميرا المرافقة للمجهر في مناطق يبدو أنها تبدي تبلوراً أفضل على مدى ملمتين اثنتين.

(2) تسجيل منحنيات أبوت - فاير ستون Abbott-Firestone التي تمثل توزيعات الأعماق على السطح،

(3) تسجيل جداول برامترات المعالم، وتتضمن كلاً من عدد القمم في واحدة المساحة Spd، والوسط الحسابي لانحناءات القمم Spc، والمساحة الوسطية للقيعان المغلقة (البعيدة عن الحافات) Sda، والمساحة الوسطية للقمم المغلقة Sha، والحجم الوسطي للقيعان المغلقة Sdv، والحجم الوسطي للقمم المغلقة Shv، واستنتاج علاقتها بتدبيب القمم واستدارتها وربما نمط نمو الغشاء.

(4) إجراء دراسة تحليلية لنماذج Motifs analysis السطوح على الصور الطبوغرافية، وإجراء دراسة إحصائية على الحبيبات كلها على السطح يظهر بنتيجتها كل من المساحة الوسطية للحبيبة الواحدة وارتفاعها الوسطي، ثم قياس برامترات كل حبيبة على حدة.

(5) إجراء تجزئة للسطوح بالترميز الثنائي Binary Segmentation، نحصل بنتيجته على نماذج للحبيبات أو الجزر يمكن تعرف برامترات كل منها، وإجراء إحصاء عليها، والحصول على القيم الوسطية لكل من برامتراها، وفرزها تبعاً لعتبة معينة لكل برامتر. من هذه البرامترات: مساحات الحبيبات وأقطارها ومحيطاتها وتوجهاتها، وعامل الشكل Form factor الذي يعرف بأنه نسبة مساحة الحبيبة إلى مربع محيطها مضروبة بـ  $4\pi$ ، والنسبة الباعية Aspect Ratio التي تعرف بأنها نسبة طول الحبيبة إلى عرضها، والاستدارة Roundness التي تصف شبه الحبيبة بالدائرة، وتعرف بأنها نسبة مساحة الحبيبة إلى مساحة القرص المقابل لأكبر قطر فيها وهي تقترب من الواحد بقدر ما يكون شبه الحبيبة بالدائرة كبيراً، وأخيراً الارتصاص Compactness الذي يعرف بأنه نسبة

القطر المكافئ للحبيبة إلى أكبر قطر فيها، وتكون هذه النسبة قريبة من الواحد في حالة الحبيبات قرصية الشكل و1.1284 في حالة الحبيبات المربعة وأصغر من الواحد في حالة الحبيبات المستطيلة الشكل وغير المنتظمة.

## النتائج والمناقشة

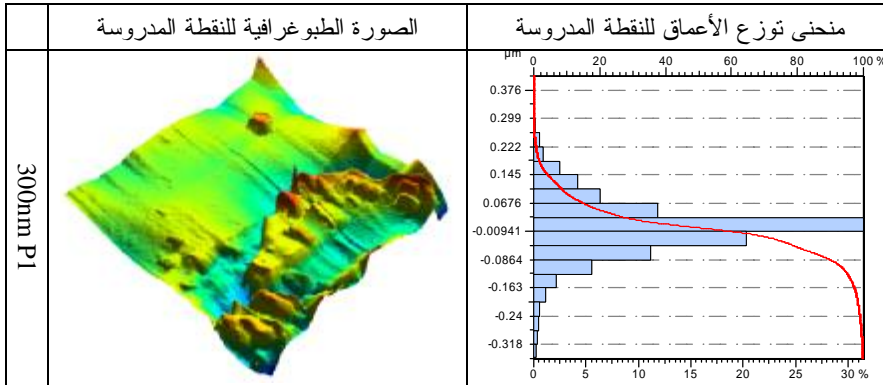
### أولاً: الأحجام الفيزيائية للصور:

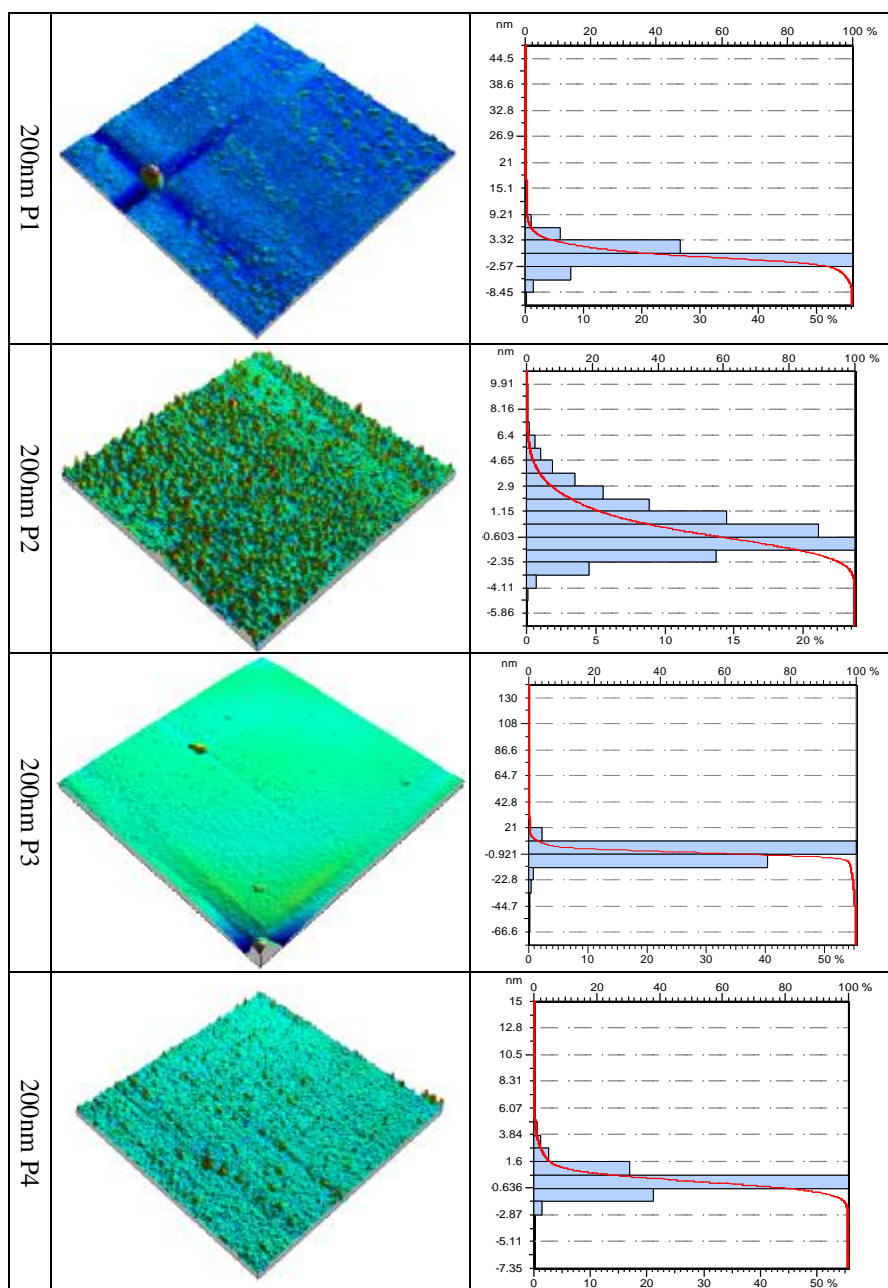
لدى رصد الأحجام الفيزيائية (الرقمية) لصور النقاط المدروسة على الأغشية وجد أنها تختلف من غشاء إلى آخر ومن نقطة إلى أخرى على الغشاء نفسه، حتى إن أحجام صور نقاط الغشاء 50nm أكبر من أحجام صور بعض نقاط الغشاءين الأكثر ثخانة، وهو أمر لا يمكن تفسيره إلا بافتراض وجود خلل ما في تقدير الثخانة الفعلية للأغشية. (الجدول 1).

الجدول (1) الأحجام الفيزيائية لمختلف النقاط المدروسة على الأغشية المختلفة.

رقم النقطة على الغشاء	P1	P2	P3	P4
50 nm	4382 digits	2990 digits	2691 digits	
200 nm	2994 digits	1406 digits	7303 digits	1186 digits
300 nm	28890 digits	9049 digits	11948 digits	3855 digits

يتضمن الشكل (1) صوراً طبوغرافية ومنحنيات توزع الأعماق لخمس نقاط مدروسة  $10\mu\text{m} \times 10\mu\text{m}$  اختيرت بحيث تبدي تبايناً في توزع أعماقها: النقطة P1 من الغشاء 300 nm والنقاط P1 و P2 و P3 و P4 من الغشاء 200 nm.





الشكل (1)

### ثانياً: توزيع الارتفاعات في الأغشية

نجد لدى رصد الارتفاعات في سطوح الأغشية المدروسة أن عرض التوزيع يختلف من سماكة ضوئية إلى أخرى، بل يختلف من نقطة إلى أخرى على الغشاء نفسها. يظهر في الجدول (2) عرض توزيع الأعماق لنقاط (الشكل 1).

#### الجدول (2) عرض توزيع الأعماق في بعض النقاط من الشريحتين 200nm و 300nm

النقطة المدروسة	P1(200nm)	P2(200nm)	P3(200nm)	P4(200nm)	P1(300nm)
عرض التوزيع	~18nm	~12nm	~60nm	~8nm	~750nm

ونجد من خلال هذه التوزيعات ومقارنتها بالجدول 1، أنه بقدر ما يكون عرض توزيع الارتفاعات أكبر في سطح العينة فإنه يحتاج لتمثيله إلى حجم أكبر من الأرقام الثنائية.

#### ثالثاً: برامترات المعالم وتدبيب القمم أو استدارتها

تتضمن الجداول (3 و 4 و 5) برامترات معالم النقاط المدروسة في الأغشية 50nm و 200nm و 300nm على الترتيب. نجد من الجداول أن نقاط الغشاء التي تتصف بصغر مساحات قيعانها المغلقة Sda وقمما المغلقة Sha وصغر حجوم قيعانها المغلقة Sdv وقمما المغلقة Shv يكون الوسط الحسابي لانحناء قممها Spc أصغر، ومن ثمّ تميل لأن تكون أكثر تدبياً كالنقطتين الأولى والثانية من الغشاء 50nm والنقطتين الثانية والرابعة في كل من الغشاءين الآخرين، وهما النقطتان اللتان تقابلان توزيع الارتفاعات الأقل عرضاً. أما النقاط التي تتميز بكبر البرامترات المذكورة فيكون الوسط الحسابي لانحناء قممها أكبر، ومن ثمّ تميل لأن تكون أكثر استدارة كالنقطتين الأولى والثالثة في كل من الغشاءين، وهما النقطتان اللتان تقابلان توزيع الارتفاعات الأكبر عرضاً (الشكل 1) (الجدول 2).

#### الجدول (3) برامترات المعالم في نقاط الغشاء 50nm المدروسة

	P1	P2	
Spd	641970	3947634	1/μm <sup>2</sup>
Spc	3.53	2.34	1/μm
Sda*	7.55	1.41	μm <sup>2</sup>
Sha*	1.96	0.345	μm <sup>2</sup>
Sdv*	1.99e-012	1.54e-013	μm <sup>3</sup>
Shv*	9.6e-013	1.1e-013	μm <sup>3</sup>

\* تدل البرامترات التي تقترن بالنجمة على أن قيمها مقيسة على عمق 1000nm تحت أعلى قمة.

#### الجدول (4) برامترات المعالم في نقاط الغشاء 200nm المدروسة

	P1	P2	P3	P4	
Spd	6946686	11287168	57490	4714165	1/μm <sup>2</sup>
Spc	3.67	1.74	2.61	1.64	1/μm
Sda*	2.27	0.144	32.6	0.296	μm <sup>2</sup>
Sha*	0.227	0.0858	24.9	0.133	μm <sup>2</sup>
Sdv*	6.26e-013	2.4e-014	8.13e-011	4.33e-014	μm <sup>3</sup>
Shv*	1.3e-013	3.25e-014	5.39e-011	3.53e-014	μm <sup>3</sup>

\* تدل البرامترات التي تقترن بالنجمة على أن قيمها مقيسة على عمق 1000nm تحت أعلى قمة.



الجدول (5) برامترات المعالم في نقاط الغشاء 300nm المدروسة

	P1	P2	P3	P4	
Spd	153596	6095850	124797	4714165	1/ $\mu\text{m}^2$
Spc	13	2.68	13.6	1.64	1/ $\mu\text{m}$
Sda*	8.46	0.32	7.06	0.296	$\mu\text{m}^2$
Sha*	6.33	0.155	5.92	0.133	$\mu\text{m}^2$
Sdv*	4.76e-011	9.32e-014	3.3e-011	4.33e-014	$\mu\text{m}^3$
Shv*	7.26e-011	8.13e-014	3.04e-011	3.53e-014	$\mu\text{m}^3$

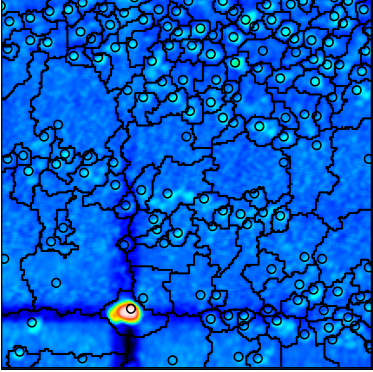
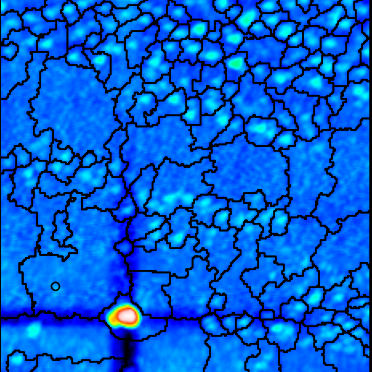
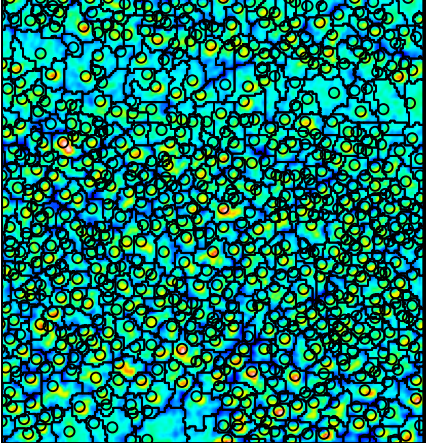
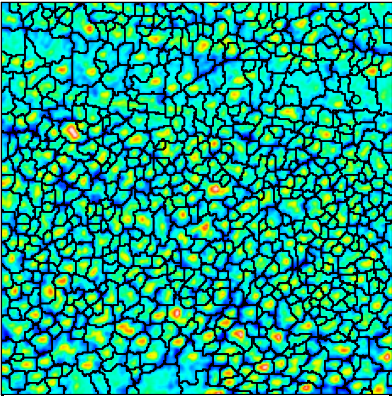
\* تدل البرامترات التي تقترن بالنجمة على أن قيمها مقيسة على عمق 1000nm تحت أعلى قمة.

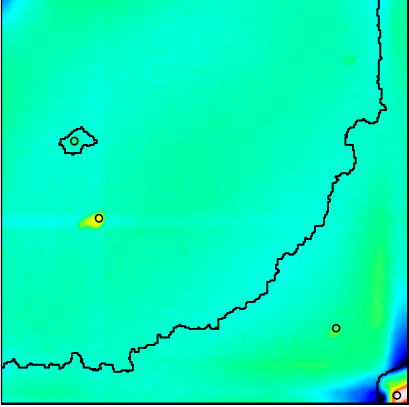
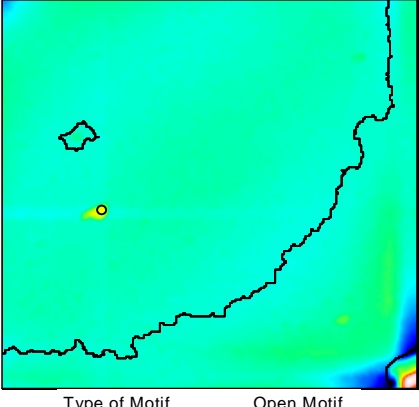
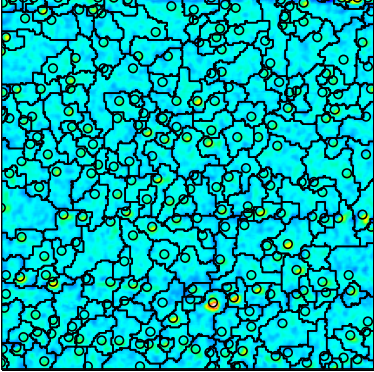
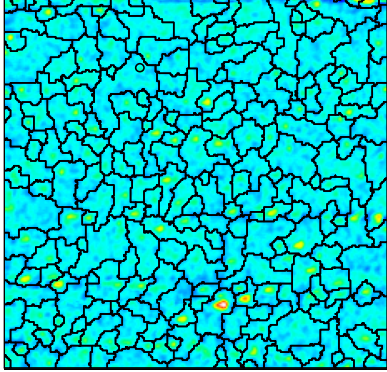
مما سبق يمكن القول: إن اقتران صغر أبعاد الحبيبات بكونها مدببة وكبر أبعاد الحبيبات بكونها أقرب للاستدارة، يمكن أن يكون مؤشراً على آلية نمو الأغشية وفق النمط الجزري أو العنقودي، إذ تتشكل الجزر الصغيرة الأبعاد في بادئ الأمر، ثم ما يلبث أن ينضم بعضها إلى بعض مشكلاً جزراً أبعادها أكبر وارتفاعها أعلى وهكذا. إذ إن حقيقة وجود الحبيبات الصغيرة والكبيرة في آن معاً على الغشاء نفسه، تجعلنا نفترض أن الحبيبات الكبيرة ربما تكون قد تشكلت من انضمام مجموعة من الحبيبات الصغيرة التي كانت تشغل موقعها بسبب قوة التجاذب فيما بينها مقارنة بقوة انجذابها إلى الركيزة.

#### رابعاً: دراسة نماذج الحبيبات باستخدام برمجية Wolfpruning

يبين الشكل (2)، صور الحبيبات أو الجزر التي تم الحصول عليها باستخدام برمجية Wolfpruning، في النقاط المدروسة من الغشاء 200nm. وقد دُيئت صور العمود الأيسر من الشكل بالقيم الوسطية لكل من ارتفاعات الحبيبات ومساحاتها وحجومها. في حين دُيئت صور العمود الأيمن من الشكل بإحداثيات إحدى الحبيبات وقيم برامتراتهما. وقد أُدرجت في الجدولين 6 و 7 القيم الوسطية لكل من ارتفاعات الحبيبات ومساحاتها وحجومها في النقاط المدروسة في كل من الغشائين على الترتيب. إذ يلاحظ أن ارتفاعات القمم ذات المساحات والحجوم الصغيرة تكون هي الأخفض (P2 و P4)، وأن ارتفاعات القمم ذات المساحات والحجوم الأكبر تكون هي الأعلى (P1 و P3)، وهي ملاحظة تشجع فرضية النمط الجزري أو العنقودي لنمو الغشاء.

غير أننا إذا رصدنا حبيبات النقطة P3 في الشكل 2، فليس ما يمتنع من وضع الاحتمالات الثلاثة لنمو الغشاء. الاحتمال الأول هو الاحتمال الذي تم تبنيه في فقرة المعالم وبداية هذه الفقرة عندما كنا نقارن بين نقاط مختلفة الأبعاد على الغشاء نفسه. ونظراً إلى أننا أمام حبيبة في هذه النقطة وصلت مساحتها إلى  $72 \mu\text{m}^2$  وارتفاعها إلى 52.8nm فلا نجد مناصاً من احتمال النمو الطباقى. غير أن وجود الجزيرة الصغيرة التي تبلغ مساحتها  $0.345 \mu\text{m}^2$  على سطحها، يجعلنا نقفز مباشرة إلى احتمال نمط النمو المشترك بين الطباقى والجزري. لكن ما من شيء يؤكد لنا نمطاً معيناً أو آخر لنمو الغشاء سوى اتباع طريقة مراقبته في موضعه.

	القيم الوسطية لبرامترات الحبيبات	برامترات إحدى الحبيبات المغلقة
P1	 <p>Number of motifs 148 Mean Height 5.24 nm Mean Area 0.711 <math>\mu\text{m}^2</math> Mean Volume 0.000417 <math>\mu\text{m}^3</math></p>	 <p>Type of Motif Closed Motif Height 3.63 nm Area 6.45 <math>\mu\text{m}^2</math> Volume 0.00123 <math>\mu\text{m}^3</math> X Extremum 1.55 <math>\mu\text{m}</math> Y Extremum 7.97 <math>\mu\text{m}</math> Z Extremum 14.6 nm</p>
P2	 <p>Number of motifs 663 Mean Height 2.21 nm Mean Area 0.159 <math>\mu\text{m}^2</math> Mean Volume 5.12e-005 <math>\mu\text{m}^3</math></p>	 <p>Type of Motif Closed Motif Height 0.989 nm Area 0.624 <math>\mu\text{m}^2</math> Volume 6.68e-005 <math>\mu\text{m}^3</math> X Extremum 9.29 <math>\mu\text{m}</math> Y Extremum 2.58 <math>\mu\text{m}</math> Z Extremum 5.42 nm</p>

P3		 <table border="1" data-bbox="699 566 991 757"> <tbody> <tr> <td>Type of Motif</td> <td>Open Motif</td> </tr> <tr> <td>Height</td> <td>52.8 nm</td> </tr> <tr> <td>Area</td> <td>73.1 <math>\mu\text{m}^2</math></td> </tr> <tr> <td>Volume</td> <td>0.141 <math>\mu\text{m}^3</math></td> </tr> <tr> <td>X Extremum</td> <td>2.47 <math>\mu\text{m}</math></td> </tr> <tr> <td>Y Extremum</td> <td>5.6 <math>\mu\text{m}</math></td> </tr> <tr> <td>Z Extremum</td> <td>0.124 <math>\mu\text{m}</math></td> </tr> </tbody> </table>	Type of Motif	Open Motif	Height	52.8 nm	Area	73.1 $\mu\text{m}^2$	Volume	0.141 $\mu\text{m}^3$	X Extremum	2.47 $\mu\text{m}$	Y Extremum	5.6 $\mu\text{m}$	Z Extremum	0.124 $\mu\text{m}$
Type of Motif	Open Motif															
Height	52.8 nm															
Area	73.1 $\mu\text{m}^2$															
Volume	0.141 $\mu\text{m}^3$															
X Extremum	2.47 $\mu\text{m}$															
Y Extremum	5.6 $\mu\text{m}$															
Z Extremum	0.124 $\mu\text{m}$															
P4		 <table border="1" data-bbox="699 1137 1002 1328"> <tbody> <tr> <td>Type of Motif</td> <td>Closed Motif</td> </tr> <tr> <td>Height</td> <td>1.46 nm</td> </tr> <tr> <td>Area</td> <td>1.83 <math>\mu\text{m}^2</math></td> </tr> <tr> <td>Volume</td> <td>0.000175 <math>\mu\text{m}^3</math></td> </tr> <tr> <td>X Extremum</td> <td>3.63 <math>\mu\text{m}</math></td> </tr> <tr> <td>Y Extremum</td> <td>1.97 <math>\mu\text{m}</math></td> </tr> <tr> <td>Z Extremum</td> <td>7.11 nm</td> </tr> </tbody> </table>	Type of Motif	Closed Motif	Height	1.46 nm	Area	1.83 $\mu\text{m}^2$	Volume	0.000175 $\mu\text{m}^3$	X Extremum	3.63 $\mu\text{m}$	Y Extremum	1.97 $\mu\text{m}$	Z Extremum	7.11 nm
Type of Motif	Closed Motif															
Height	1.46 nm															
Area	1.83 $\mu\text{m}^2$															
Volume	0.000175 $\mu\text{m}^3$															
X Extremum	3.63 $\mu\text{m}$															
Y Extremum	1.97 $\mu\text{m}$															
Z Extremum	7.11 nm															

الشكل (2) تظهر في العمود الأيسر من الشكل صور الحبيبات باستخدام خوارزمية Wolfpruning في النقاط المدروسة كلها من الغشاء 200nm، وقد ذيلت بالقيم الوسطية لكل من ارتفاعات ومساحات وحجوم الحبيبات، في حين العمود الأيمن صور الحبيبات نفسها وقد ذيلت ببرامترات إحدى حبيبات النقطة المدروسة.

الجدول (6) مقارنة بين الارتفاعات والمساحات والحجوم الوسطية لقمم نقاط سطح الغشاء  
200nm

	P1	P2	P3	P4	
Mean Height	5.24	2.21	62.1	2.27	nm
Sha	0.711	0.159	26.3	0.433	$\mu\text{m}^2$
Shv	0.000417	$5.12e^{-005}$	0.0697	$8.17e^{-005}$	$\mu\text{m}^3$

الجدول (7) مقارنة بين الارتفاعات والمساحات والحجوم الوسطية لقمم نقاط سطح الغشاء  
300nm

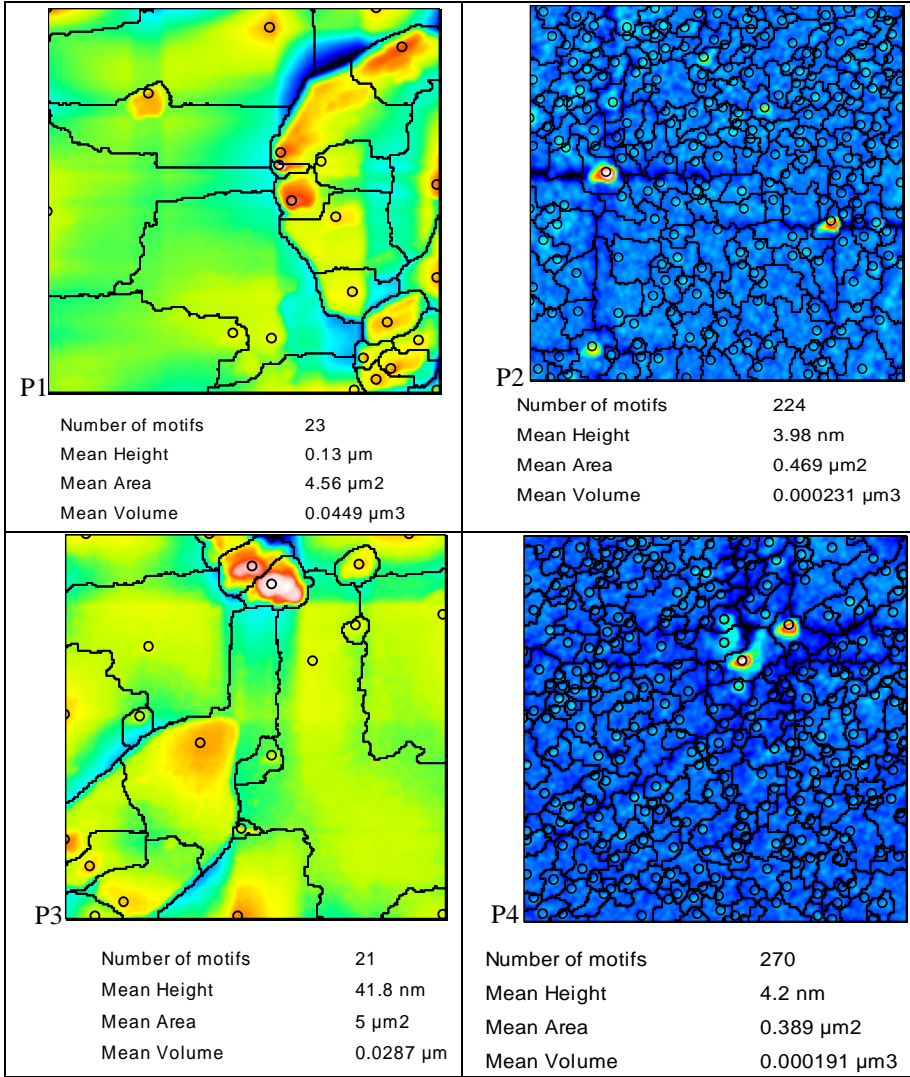
	P1	P2	P3	P4	
Mean Height	130	3.98	41.8	4.2	nm
Sha	4.56	0.469	5	0.389	$\mu\text{m}^2$
Shv	0.0449	0.000231	0.0287	0.000191	$\mu\text{m}^3$

#### خامساً: نماذج سطوح الأغشية باستخدام التجزئة بالترميز الثنائي

يبين الشكل (3) صوراً لنماذج الحبيبات أو الجزر التي تم الحصول عليها بطريقة التجزئة بالترميز الثنائي Binary Segmentation في النقاط المدروسة من الغشاء 300nm. وقد ذيلت كل صورة بالنتيجة الإحصائية التي أجريت على كامل حبيباتها وتتضمن عدد الحبيبات والقيم الوسطية لكل من ارتفاعات الحبيبات ومساحاتها وحجومها. لدى مقارنة نتائج تجزئة الغشاء باستخدام خوارزمية Wolfpruning (الجدول 7) وتجزئة الغشاء بالترميز الثنائي (الشكل 3) نجد أنهما متطابقتان. وبمقارنتهما بجدول برامترات المعالم (الجدول 5) نجد أن مساحات القمم متقاربة، ولكن حجوم القمم في برامترات المعالم أصغر. نذكر بأن قيم المساحات والحجوم في برامترات المعالم مقيسة على بعد 1000nm تحت أعلى قمة. وربما تقع على بعد أكبر في حالة استخدام خوارزميات التجزئة.

#### مقتطع من جدول برامترات المعالم 5

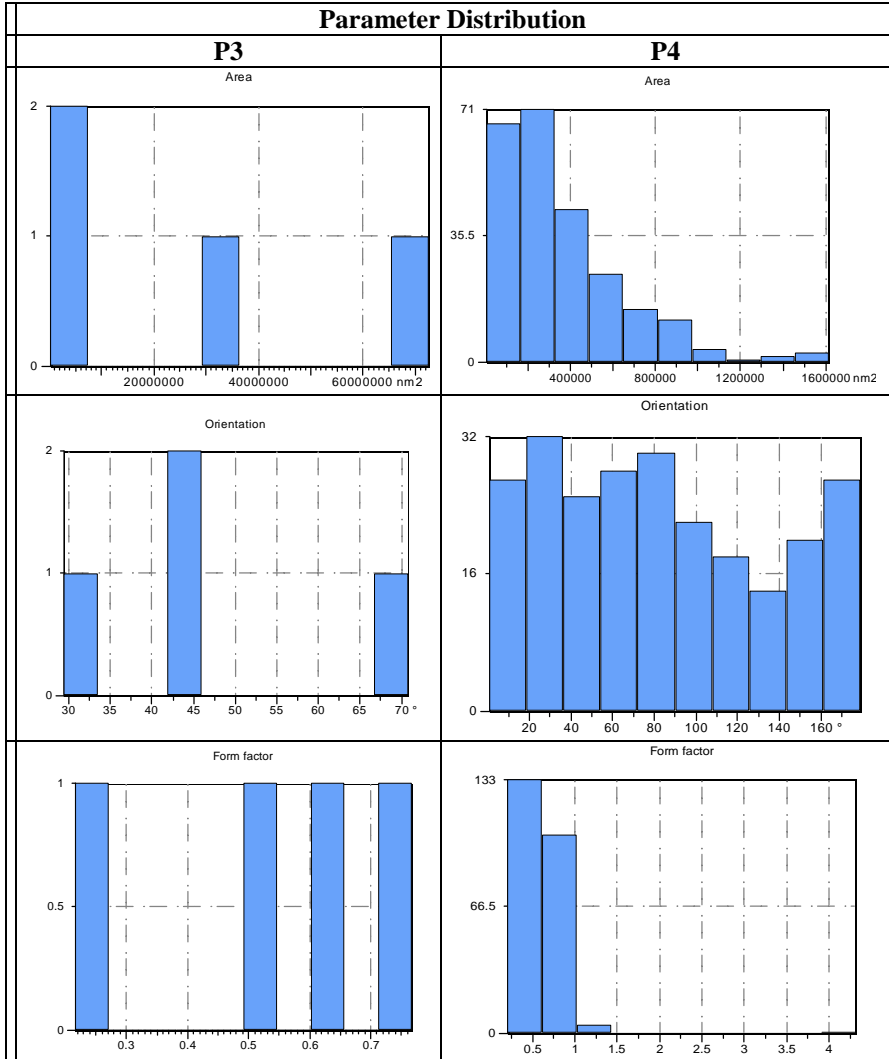
	P1	P2	P3	P4	
Sha*	6.33	0.155	5.92	0.133	$\mu\text{m}^2$
Shv*	$7.26e-011$	$8.13e-014$	$3.04e-011$	$3.53e-014$	$\mu\text{m}^3$

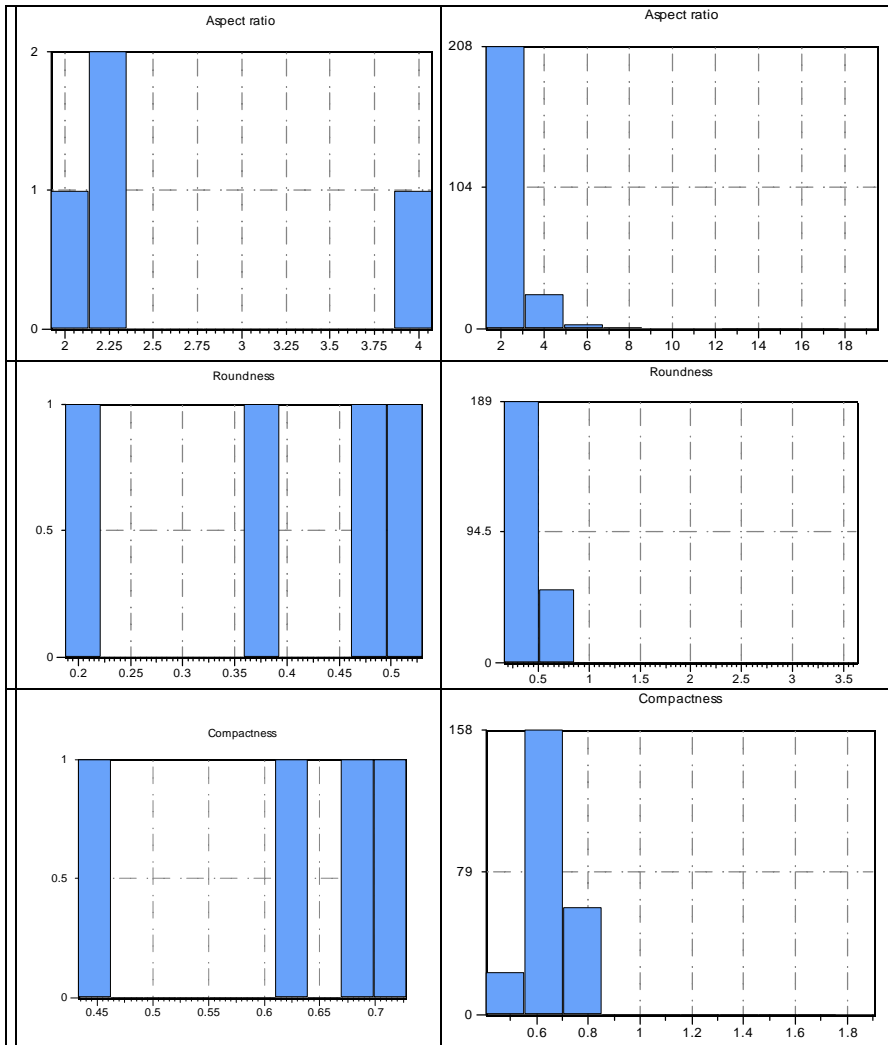


الشكل (3) يبين الشكل صوراً لحبيبات نقاط الغشاء 300nm الأربع، وقد ذُلت كل صورة بالنتيجة الإحصائية التي أُجريت على كامل حبيباتها وتتضمن القيم الوسطية لكل من ارتفاعات ومساحات وحجوم الحبيبات.

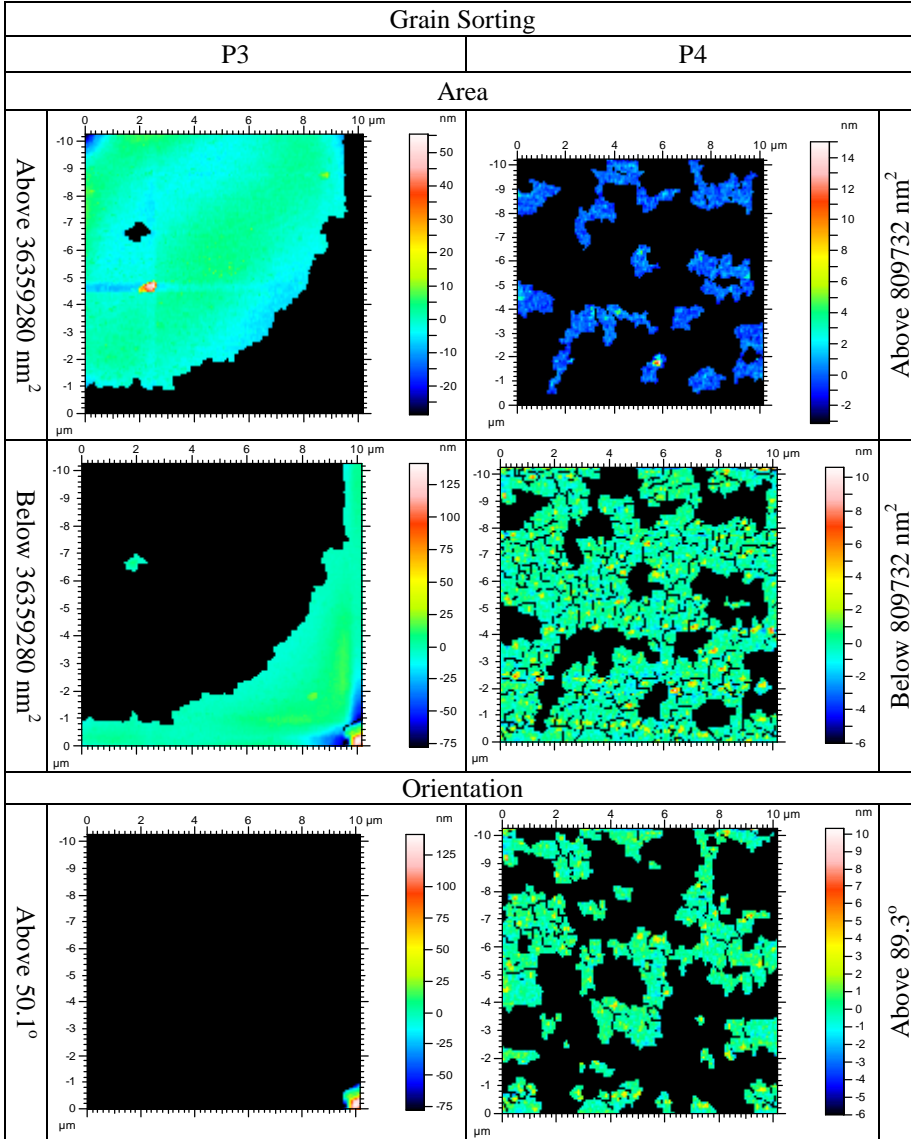
يضم الشكل (4) التوزيعات الإحصائية لحبيبات النقطتين P3 و P4 في الغشاء 200nm بالنسبة إلى كل من المساحة والتوجه وعامل الشكل والنسبة الباعية والاستدارة والارتصاص. وقد وقع الخيار على هاتين النقطتين نظراً إلى تباينهما الكبير في أبعاد

حبيباتهما. كما يضم الشكل 5 نتائج فرز حبيبات النقطتين المذكورتين وفقاً لعتبة معينة لكل من المساحة والتوجه وعامل الشكل والنسبة الباعية والاستدارة والارتصاص. إذ تتضمن نتيجة الفرز صورة الحبيبات التي تقع فوق العتبة وصورة الحبيبات الواقعة تحت تلك العتبة.

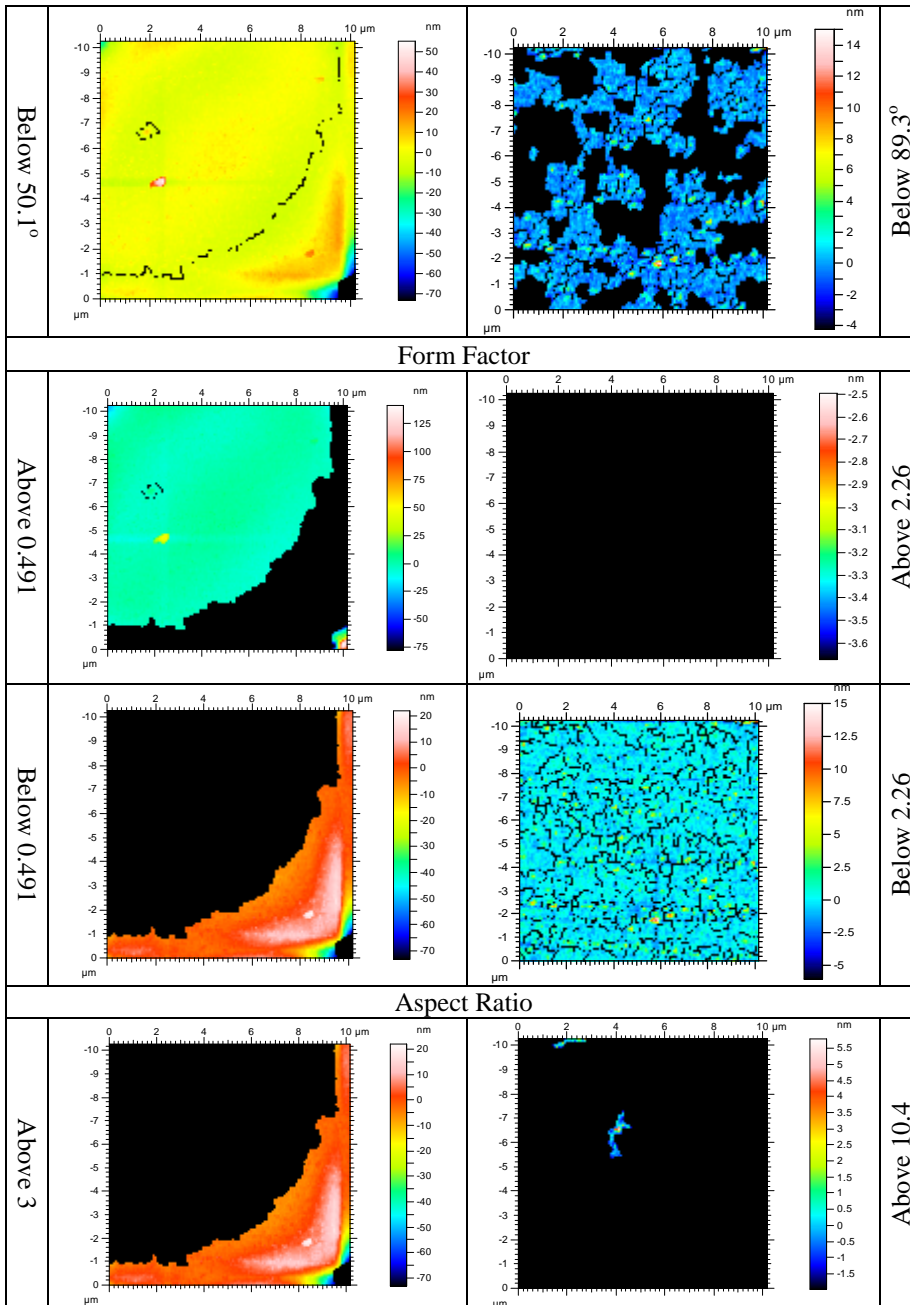


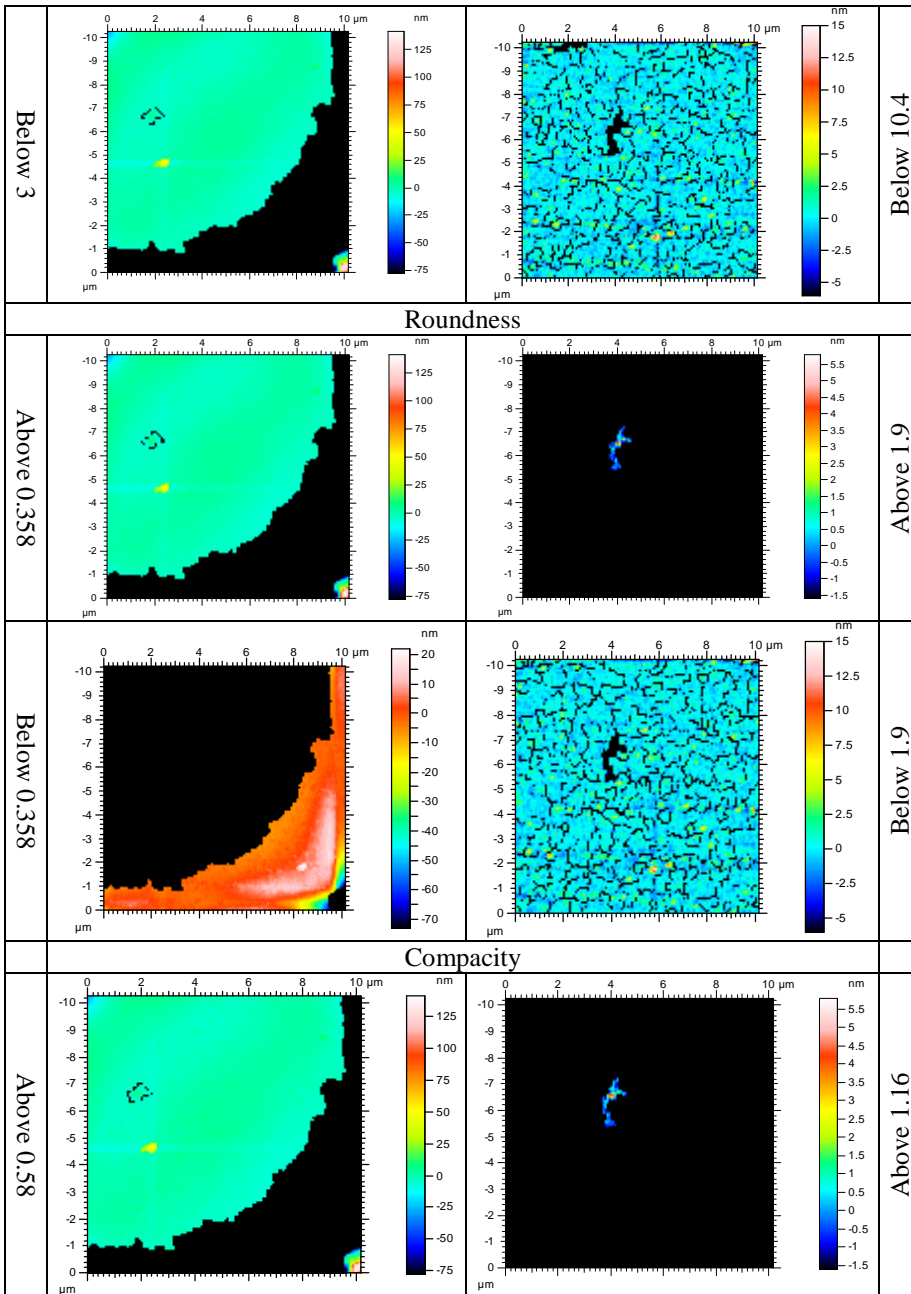


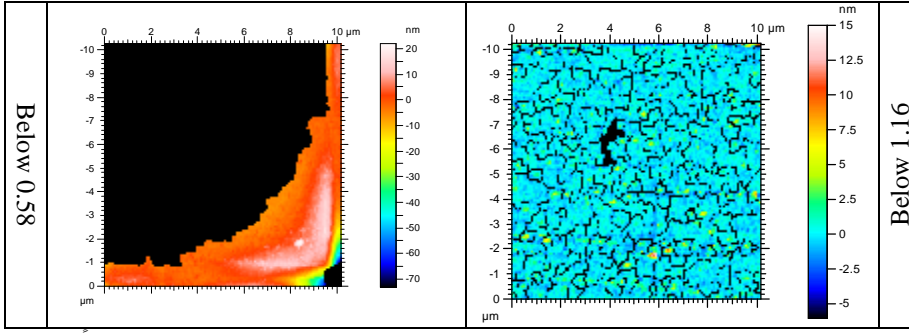
الشكل (4) التوزيع الإحصائي لحبيبات النقطتين 3 و 4 من الغشاء 200nm وفقاً لكل من برامترات المساحة والتوجه وعامل الشكل والنسبة الباعية والاستدارة والارتصاص.











الشكل (5) الصور الناجمة عن فرز حبيبات النقطتين 3 و4 من الغشاء 200nm، وفقاً لعتبة معينة لكل من المساحة والتوجه وعامل الشكل والنسبة الباعية والاستدارة والارتصاص.

يلاحظ من خلال هذه التوزعات أن عدد الحبيبات التي تشغل قيمة معينة للمساحة يقل مع تزايد هذه المساحة، ولو أن مساحات الحبيبات يمكن أن تصل إلى أكثر من  $60 \mu\text{m}^2$  (في النقطة P3). في حين أظهرت دراسة هذه الأغشية بتقنية انعراج الأشعة السينية XRD [8] الأبعاد البلورية 4.1nm crystallite size (السمائة 50nm) و 8.2nm (السمائة 200nm) و 9.8nm (السمائة 300nm). وهي نتيجة طبيعية نظراً إلى أن تقنية XRD أكثر إجمالاً بكثير من مجهرية القوة الذرية، ولأن الدراسة أجريت على مناطق متجانسة في الأغشية ليست بالضرورة الأفضل تبلوراً. في حين أن قياسات مجهر القوة الذرية أجريت على المناطق التي كانت تبدو أفضل تبلوراً بالاستعانة بالكاميرا التي ترافق المجهر. كما يلاحظ من خلال التوزعات الإحصائية للحبيبات أن ليس لها توجه مفضل. كما يلاحظ أن عامل الشكل لمعظم الحبيبات لا يزيد على الواحد. في حين تقتصر قيمة النسبة الباعية لمعظم الحبيبات على 3 فما دون. إن قيم الاستدارة للحبيبات جميعها أقل من الواحد وتقل عن نصف لمعظم الحبيبات، وهذا يبعتها -نوعاً ما- عن الشكل الدائري. أما قيم الارتصاص التي تقل قليلاً عن الواحد وتتميز بها الحبيبات تجعل أشكالها أقرب إلى الدائرة منها إلى المستطيل.

## References

- [1]Gao X. D., Li X. M. Yu W. D., Studies of zinc and lead chalcogenide thin films grown by SILAR Thin Solid films 468 (2004)43.
- [2]Cheng J., Fan D., Wang H., Liu B. W., Chemical bath deposition of crystalline ZnS thin films, Semicond. Sci. Technol. 18 (2003)676
- [3]S. H. Deulkar, C. H. Bhosaile, M. Sharon, A study of structural, compositional and optical properties of spray-deposited non-stoichiometric (Zn,Fe)S thin films, J. Phys. Chem. Solids 65(2004)1879.
- [4]Thamizhmani Thamizhmani L., Azad A. K., Dai J., Zhang W., Far-infrared optical and dielectric response of ZnS measured by terahertz time-domain spectroscopy Appl. Phys. Lett. 86 (2005) 131111.
- [5]Yazici A. N., Oztas M., Bedir M., The thermoluminescence properties of copper doped ZnS nanophosphor , J. Luminescence 104 (2003)115.
- [6]Vidal J., Melo O. De., Vigil O., Lopez N., Contreras-Puente G., Zelaya-Angel O., Influence of magnetic field and type of substrate on the growth of ZnS films by chemical bath, Thin Solid films 419(2002)118
- [7]VENABLES JOHN A., Introduction to Surface and Thin Film Processes, Arizona State University and University of Sussex, 2003
- [8]IAbou Samra R. et al, Structural and optical properties of thermally evaporated ZnS thin films Eur. Phys. J. Appl. Phys. 52, 30301 (2010)
- [9]Nanosurf FlexAFM, Operating Instructions for Easyscan 2 control software, version 2.1 2009, 3.1, 2013.
- [10]Scanning Probe Image Processor, SPIP™! manual (guide for AFM algorithms).
- [11]Ibach Harald, Physics of Surfaces and Interfaces, 2006, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [12]Bubert H.and Jenett H., Surface and Thin film Analysis: Principles, Instrumentation, Applications, 2002 Wiley-VCH Verlag GmbH.