

## تحسين الخواص السطحية لزرعات التيتانيوم Ti الطبية بتوضيع أغشية رقيقة من السليكون العضوي HMDSO

أحمد محمد خضر<sup>1</sup> أ. د. محمد علي سلامة<sup>2</sup>، أ. د. مصطفى حسن الموالي<sup>3</sup>

<sup>1</sup>طالب دكتوراه - قسم هندسة التصميم الميكانيكي - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق.

<sup>2</sup>أستاذ دكتور في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية في جامعة دمشق.

<sup>3</sup>أستاذ دكتور عميد كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية في جامعة دمشق.

### الملخص

جرى توضيع أغشية رقيقة من السليكون العضوي (سداسي ميثيل ديسيلوكسان المتبلرمة بلازماً) (pp-HMDSO) على سطوح ركائز من زرعات التيتانيوم Ti الطبية باستخدام تقنية توضيع البخار الكيميائي المعزز بالبلازما (PECVD)، وجرى دراسة تأثير هذه الأغشية في كلٍ من: مقاومة التآكل لهذه الزرعات في وسط مخرّش من محلول 0.9% NaCl، وقيم القساوة الميكروية المركبة لها. ويهدف تحليل مورفولوجية هذه الأغشية بمجهر القوة الذرية (AFM) Atomic Force Microscope تم توضيعها على ركائز من السليكون، وبغية قياس ثخانة هذه الأغشية وضّعت على مجاوب بلورة من مادة الكوارتز (QCM) Quartz Crystal Microbalance، وذلك ضمن شروط التوضيع المحددة نفسها، وكما أجريت الاختبارات الكهروكيميائية باستخدام تقنية الاستقطاب (تافل) لدراسة مقاومتها للتآكل الكهروكيميائي، وأجريت اختبارات القساوة الميكروية على هذه الركائز والعينات المرجعية. وبعد غمر الركائز (الموضّعة عليها الأغشية الرقيقة المنوه عنها أنفاً) لمدة عشرة أيام في الوسط المخرّش، أظهرت النتائج خواصاً واعدة للحماية من التآكل لأغشية السليكون العضوي pp-HMDSO المتبلر بلازماً الموضّعة على سطوح زرعات التيتانيوم الطبية، إضافة إلى ارتفاع ملحوظ في قيم القساوة الميكروية.

**الكلمات المفتاحية:** أغشية رقيقة، السليكون العضوي HMDSO، التآكل الكهروكيميائي، توضيع البخار الكيميائي المعزز بالبلازما PECVD، قساوة ميكروية، مجهر القوة الذرية، مجاوب بلورة من الكوارتز QCM.

تاريخ الإيداع: 2022/6/10

تاريخ القبول: 2022/7/25



حقوق النشر: جامعة دمشق - سورية،

يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب

الترخيص CC BY-NC-SA 04

## Improving The Surface Properties Of Medical Titanium Implants By Deposited Organosilicon HMDSO

**Ahmad Mohamad Khder<sup>1</sup>, Prof. Mohamad Ali Salameh<sup>2</sup>, Prof. Moustafa Hasan Al-Mawaldi<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Postgraduate student, Mechanical Design Engineering Department, Mechanical and Electric Engineering, Damascus University.

<sup>2</sup>Professor in Mechanical and Electrical Engineering, Damascus University.

<sup>3</sup>Professor and Dean Mechanical and Electrical Engineering College, Damascus University.

### Abstract

Organosilicon Thin films (plasma polymerized hexamethyldisiloxane) (pp-HMDSO) were deposited on substrate surfaces of medical Titanium implants using plasma enhanced chemical vapor deposition (PECVD), and was studied the effect of these films on each of Corrosion resistance to these implants in the middle of a script of a solution of 0.9% NaCl, and the values of the composed micro-hardness. With the aim of analyzing the morphological analysis of these films by Atomic Force Microscope (AFM) the films were deposited on silicon substrates, and to measure the thickness of these films they were deposited on a Quartz Crystal MicroBalance (QCM), within the same specified conditions for the settings themselves. Electrochemical tests were conducted using Tafel polarization technique to study film's corrosion resistance, and micro-hardness test was also performed on these substrates and reference samples, after immersion of the substrates (which were deposited with above mentioned thin films) for ten days in abrasive media. The results showed promising properties to protect from corrosion of the organosilicon (pp-HMDSO) thin films deposited on medical Tanium implant surface, in addition to increase the micro-hardness values.

**Keywords:** Thin Films, Organosilicon HMDSO, Electrochemical Corrosion, Plasma Enhancing Chemical Vaper Deposition PECVD, Micro-Hardness, Atomic Force Microscope (AFM), Quartz Crystal Microbalance QCM.

Received: 10/6/2022

Accepted: 25/7/2022



**Copyright:** Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a CC BY- NC-SA

**1- المقدمة:**

درس الباحث S.Saloum *et al* عام (2017)، خصائص الحماية من التآكل للأغشية الرقيقة من سداسي ميثيل الديسيلوكسان المتبلر بلازماً HMDSO-PP، حيث كانت الحماية جيدة بحدود 84% في محلول ملحي (0.3M NaCl)، وحصل الباحثون على حماية مقدارها 66% في محلول من حمض الكبريت (0.3M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) بالنسبة للفولاذ المقاوم للصدأ SS316 المغطى بغشاء رقيق من سداسي ميثيل الديسيلوكسان المتبلر بلازماً PP-HMDSO، وذلك بعد غمر هذه الركازات لمدة أسبوع في الأوساط المخرشة آتفة الذكر [8].

درست خواص التآكل للأغشية الرقيقة الموضوعة على الفولاذ بواسطة PECVD في المزيج HMDSO/O<sub>2</sub> ضمن محلول 0.1M KCl [9]. ووجد كل من Gengenbach and Griesser [10] أن الأغشية الرقيقة pp-HMDSO تتمتع باستقراره جيدة جداً على المدى الطويل عندما تتقادم في الهواء بعد التوضيع. وضّع كل من Yeong-Muetal [11] pp-HMDSO على سطح من معدن Mg من أجل الحماية من التآكل في محلول 0.9% NaCl. كما حضر كل من الباحثين Mater, Mascagni وآخرين [12] أغشية رقيقة من pp-HMDSO/O<sub>2</sub> موضوعة على سطح سبيكة الألمنيوم 2024 من أجل الحماية من التآكل في محلول 3.5% NaCl.

درس Abourayana, Zreiba وآخرون [13] خواص التآكل لمادة pp-HMDSO/benzene المرسبة على سبيكة الألمنيوم 6061، وذلك في محلول 5% NaCl. درس Angelini وآخرون [14] مقاومة التآكل للأغشية الرقيقة pp-HMDSO/O<sub>2</sub> الموضوعة على الفولاذ في محلول من كبريتات الصوديوم 0.1M Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

سنقوم في هذا العمل بتوضيع أغشية رقيقة متبلرة بلازماً من السليكون العضوي HMDSO على ركازات مختلفة من معدن التيتانيوم Ti لدراسة خواص التآكل الكهروكيميائي والقساوة المكروية لهذه الأغشية، وعلى

تستخدم تقنية توضيع البخار الكيميائي المعزز بالبلازما (PECVD) لتوضيع أغشية رقيقة على سطوح المواد وتحسين خواصها السطحية حسب التطبيقات المطلوبة من هذه المواد، وتعدّ هذه الطريقة إحدى أهم التطبيقات التقانية والصناعية الهامة للأغشية الرقيقة المتبلرة بلازماً، حيث تستخدم بشكلٍ واسعٍ لتحضير أغشية رقيقة شبه السليكونية (Si:O<sub>x</sub>:C<sub>y</sub>:H<sub>z</sub>) للبوليميرات البلازمية (plasma polymers) المعتمدة على المونوميرات العضوية السليكونية (organosilicon) مثل سداسي ميثيل ثنائي ديسيلوكسان (CH<sub>3</sub>)<sub>6</sub>-Si<sub>2</sub>-O [2-1]. وُجد أن هذه الأغشية ذات بنية لابلورية (amorphous) وخالية من الثقوب الإبرية (pinhole free) [3]، وتتمتع هذه الأغشية بخواص ميكانيكية جيدة [2-4]، ولهذه الأسباب يمكن توظيف هذه الأغشية في تطبيقات تقنية عديدة مثل استخدامها كأغشية مقاومة للخدش (scratch-resistant) [1]، كما ويمكن أن توضع هذه الأغشية على ركاز من السيراميك و السليكون [5-6].

تم التحقيق من قبل كلٍ من Gerrit Wulf. Bernd Mayer. Uwe Lommatzsch عام 2022 في البلورة المشتركة بالبلازما مع السليكون العضوي (HMDSO) والمركب العضوي (limonene) باستخدام APPJ (atmospheric pressure plasma jet). تُظهر هذه الدراسة أن البلورة المشتركة مع APPJ تسمح بتجميع الأغشية مع مركبات وظيفية تنشأ من مادة عضوية organic ومادة غير عضوية inorganic (السليكون العضوي organosilicon). تم العثور على معدل تدفق المركبات العضوية في المزيج لتكون فعّالة بهدف ضبط بنية الشبكة وكمية المجموعات الوظيفية ونوعيتها مثل NO<sub>2/3</sub> أو C=O. لذلك قد تكون عمليات التوضيع ذات أهمية خاصة لتركيبة الأغشية الرقيقة المرنة المتمتعة بخواص التصاق جيدة [7].

شرائح ميكروية من الكوارتز من أجل قياس ثخانة الغشاء الرقيق. تم وضع العينات على حامل ركازة، وعلى مسافة 4.5cm تحت المنبع.



الشكل (1) الجهاز المستخدم ومنظومة التوضيح الكيميائي للبخر المعزز بلازماً

جرى تنظيف جميع الركائز بالكحول والماء المقطر لضمان نظافة السطح من أية بقايا وأوساخ ودهون، وذلك قبل البدء في توضيح أغشية رقيقة من السليكون العضوي pp-HMDSO، وبعد ذلك يتم التعامل مع العينات والحرص على عدم تلويثها ومسكها باليد.

استعملت طريقة الاستقراء تافل لاستنتاج قيم التآكل الكهروكيميائي لأغشية pp-HMDSO الموضحة على ركائز من التيتانيوم Ti بمنظومة اختبار وقياس التآكل الكهروكيميائي الموضحة في الشكل (2-a) والمكونة من جهاز iviumstat لتحليل التآكل الشكل (2-b)، واستخدمت خلية تقليدية ثلاثية الأقطاب بسعة 300ml الشكل (2-c)، وأخذت قياسات التآكل للعينات الشكل (2-d) بعد وضعها في وسط مكون من محلول ملحي (0.9 % NaCl) المكافئ للسائل الفيزيولوجي، حيث تم وضع هذه الركازات في المحلول لمدة 10 أيام وفي درجة حرارة الغرفة 25°C. استنتجت البارامترات الحدية  $i_{corr}$ ،  $E_{corr}$  من منحنيات تافل (Tafel plots).



السليكون لدراسة الخواص المورفولوجية وعلى بلورات الكوارتز لتقدير ثخانة هذه الأغشية.

## 2- الطرائق التجريبية:

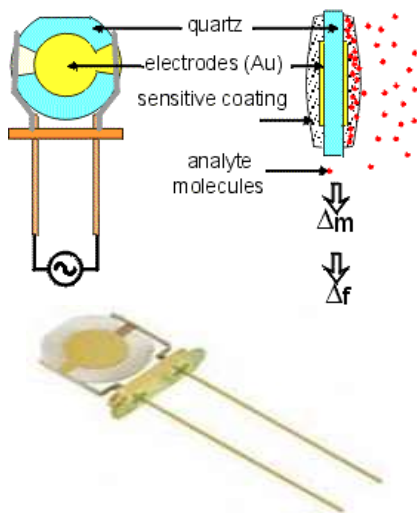
وُضعت الأغشية الرقيقة من السليكون العضوي pp-HMDSO في فراغ المهبط المجوف ذي التردد 13.56 MHz (Plasma Consult GmbH HCD-L 300 MHz System) منخفض الضغط حيث بلغ الضغط الأولي  $P=1 \times 10^{-5}$  mbar، وذلك في شروط التشغيل التالية:

- الاستطاعة الراديوية المطبقة تساوي 300 واط.
- معدل تدفق HMDSO يساوي 12 sccm.
- درجة حرارة المبخر 70°C.
- زمن التوضيح 30 دقيقة .
- ضغط التوضيح الكلي يساوي 12 Pa.
- تدفق غاز الأرجون 40 sccm.
- تدفق غاز الهليوم 50 sccm.

يبين الشكل (1) الجهاز المستخدم من أجل عملية التوضيح وتشخيص البلازما. يتألف المنبع HCD-L 300 من أنبوبين متحورين بطول 30cm، حيث الأنبوب الداخلي هو المهبط المجوف والأنبوب الخارجي يُشكل المصعد، وكلا الأنبوبين مزودان بنقوب متمحورة و متراصفة مع بعضها منتجةً 30 نفثاً بلازماً (plasma jet). تطبق الاستطاعة الراديوية (300 واط كحد أعظم) عند 13.56MHz على المهبط. يتم تفرغ حجرة العمليات ذات الأبعاد (50 x 50 x 50 cm<sup>3</sup>)، وذلك قبل إجراء عملية التوضيح إلى ضغط أولي يساوي  $P=10^{-5}$  mbar باستخدام مضخة أولية (Alcatel 2063 C2) ومضخة دوارة Root (Alcatel RSV 301B). يتكون نظام تبخير HMDSO من مقياس تدفق سائل كتلي (Lintec-LM-2100A)، ومبخر (Lintec-VU) مُسخّن إلى الدرجة 70°C. يُحمّل ببخار السليكون العضوي HMDSO إلى حجرة البلازما بغاز الهليوم، من خلال أنبوب مسخن إلى الدرجة 50°C. استخدمت غازات تجارية من الأرجون والهليوم بنقاوة (99.999%) ومادة HMDSO من شركة Sigma-Aldrich وبنقاوة 98%. وُضعت الأغشية على ركائز من

تساوي كثافة الغشاء الموضَّع بلازيمياً من HMDSO تقريباً  $1.8 \text{ g/cm}^3$ ، وذلك حسب دراسة كلٍ من S. Saloum وآخرين [16]، ومن تعويض القيم جميعها بالعلاقة السابقة باعتبار أن قيمة  $\Delta f(\text{HMDSO}) = 4.4 \text{ kHz}$  تكون قيمة ثخانة الغشاء الموضَّع من HMDSO :

$$df(\text{HMDSO}) = 300 \text{ nm}$$

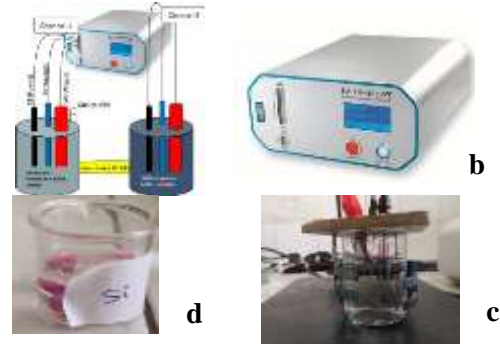
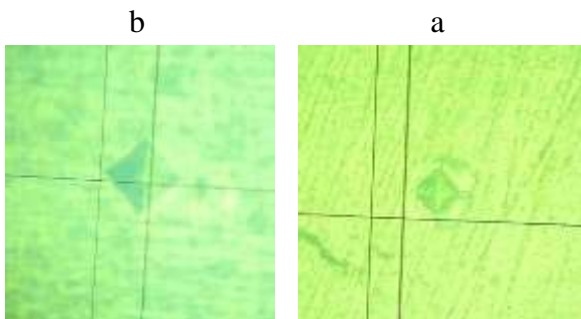


الشكل (3) المقياس المكروي لبلورة الكوارتز

### Quartz crystal microbalance QCM

2-3 القساوة الميكروية:

تم قياس القساوة الميكروية لركائز من التيتانيوم Ti بطريقة فيكزر، وذلك عند حمولة  $25 \text{ gf}$  وزمن تطبيق للحمل قدره  $15 \text{ s}$  وقياس بعدي أثر الهرم المطبوع على الركيزة والموضحة بالشكل (4)، إذ جرى قياس القساوة الميكروية لكل من الركائز الموضَّع عليها الغشاء ومثيلاتها المرجعية، وتلك الموضَّع عليها الغشاء بعد وضعها في المحلول الملحي.



الشكل (2) منظومة اختبار وقياس التآكل الكهروكيميائي (b) جهاز iviumstat.xr لتحليل التآكل والخلية ثلاثية الأقطاب. (c) خلية ثلاثية الأقطاب. (d) العينات المختبرة. أجريت تجارب القساوة وحساب القساوة الميكروية للأغشية باستخدام جهاز القساوة الميكروية المزود بهرم ماسي ذي زاوية  $136^\circ$ ، وذلك لقياس قساوة فيكزر الميكروية للغشاء الموضَّع.

### 3- النتائج والمناقشة:

#### 3-1 حساب ثخانة الغشاء:

حُسبت ثخانة الغشاء الرقيق pp-HMDSO الموضَّع على ركائز من التيتانيوم Ti بطريقة توضيع البخار الكيميائي المعزز بالبلازما (PECVD)، وبتطبيق شروط التوضيع السابقة نفسها على المقياس المكروي لبلورة الكوارتز Quartz crystal microbalance QCM لمراقبة عملية التوضيع الشكل (3)، حيث كان Saurbrey [15] أول من اقترح استخدام حساب ثخانة الغشاء الموضَّع، وذلك من خلال علاقته:

$$df = \frac{N_q \rho_q}{\rho_f f_0^2} \Delta f \quad (1)$$

حيث:

$df$ : ثخانة الغشاء الرقيق.

$f_0$ : التواتر التجاوبي لبلورة الكوارتز المطلية بالذهب Au، ( $f_0 = 6.0 \text{ MHz}$ )

$\rho_q$ : كثافة الكوارتز ( $2.65 \text{ g cm}^{-3}$ ).

$N_q$ : ثابت اهتزاز الكوارتز  $1.67 \times 10^{-5} \text{ Hz.cm}$ .

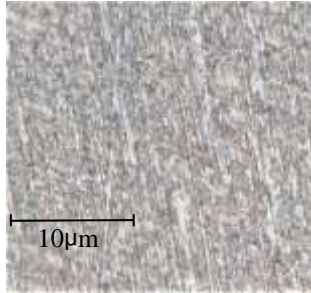
$\rho_f$ : كثافة المادة المراد توضيعها.

$\Delta f$ : تغيّر تواتر الاهتزاز لبلورة الكوارتز.

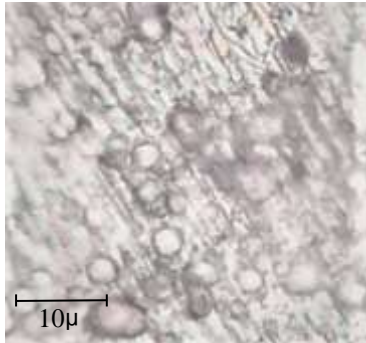
HV<sup>s</sup> القساوة المقاسة لركائز Ti المطلية بعد غمرها لمدة عشرة أيام في المحلول الملحي. من التعويض في العلاقة السابقة نجد أن قيمة التدهور لهذه الأغشية تساوي 1% فقط.

### 2-3 تحليل المورفولوجية السطح:

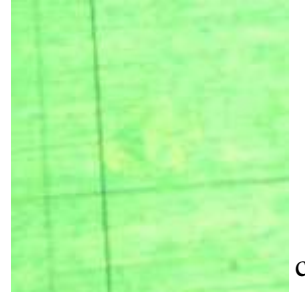
يُظهر الشكل (5) الصور المجهرية الضوئية للأغشية الرقيقة pp-HMDSO الموضّعة على ركائز من Ti، بينما يبين الشكل (6) سطح هذا الغشاء بعد وضعه لمدة عشرة أيام في محلول فيزيولوجي NaCl % 0.9. تتمتع النقر المتشكلة على السطح بأشكال غير منتظمة وبأحجام تتراوح بين 0.5µm و 2µm، وتم تقدير نسبة توزع النقر على السطح (كمؤشر على تدهور الأغشية الرقيقة من السليكون العضوي pp-HMDSO بسبب مهاجمة الأوساط المخرشة) باستخدام برنامج "Gwyddion" فكانت 1% في المحلول المذكور سابقاً، مما يعطينا فكرة واضحة عن عمر الغشاء الرقيق في هذا الوسط، وهذا يؤكد النتائج التي استُنتجت من اختبار القساوة الميكروية المناقشة سابقاً.



الشكل (5) صورة المجهر الضوئي للأغشية الرقيقة pp-HMDSO الموضّعة على ركائز التيتانيوم.



الشكل (6) صورة المجهر الضوئي للأغشية الرقيقة pp-HMDSO الموضّعة على ركائز التيتانيوم بعد وضعها لمدة عشرة أيام في المحلول الفيزيولوجي NaCl % 0.9.



الشكل (4) أثر الهرم المطبوع (a) على الركائز الموضّعة عليها الغشاء (b) على الركائز المرجعية (c) على الركائز الموضّعة عليها الغشاء بعد وضعها في المحلول الملحي.

بينت النتائج الموضحة في الجدول (1) قيم القساوة الميكروية المقاسة للركائز المذكورة سابقاً، حيث أجريت ثلاث قياسات لكل ركازة، وتم حساب المتوسط الحسابي وكانت قيمة القساوة الميكروية للغشاء الموضّع بلازماً من السليكون العضوي HMDSO تساوي 603.9HV بينما للركائز المرجعية كانت قساوتها 427.6HV أي أن قساوتها الميكروية قد ازدادت بمقدار مرة ونصف تقريباً.

الجدول (1) قيم القساوة الميكروية المقاسة

العينة	Ti*	Ti/HMDSO**	Ti/HMDSO***
القساوة HV	434.7	645.9	626.8
	418.7	595.8	569.9
	429.4	570	595.4
المتوسط الحسابي	427.6	603.9	597.4

\* القساوة الميكروية لركائز Ti.

\*\* القساوة الميكروية المركبة لركائز Ti الموضّعة عليها HMDSO

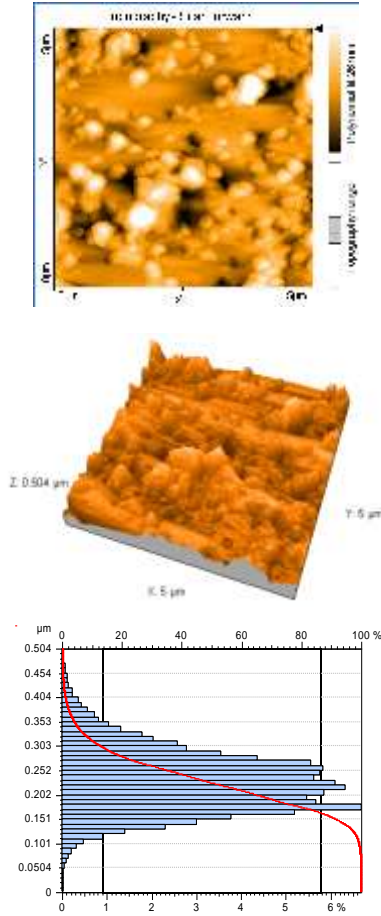
\*\*\* القساوة الميكروية المركبة لركائز Ti الموضّعة عليها HMDSO بعد وضعها في محلول 0.9%NaCl أما قيمة القساوة الميكروية للركائز بعد وضعها في المحلول الملحي NaCl 0.9% لمدة عشرة أيام بدرجة حرارة الغرفة فكانت 597.4HV.

وتعطى نسبة تدهور الغشاء في هذا الوسط من العلاقة [7]:

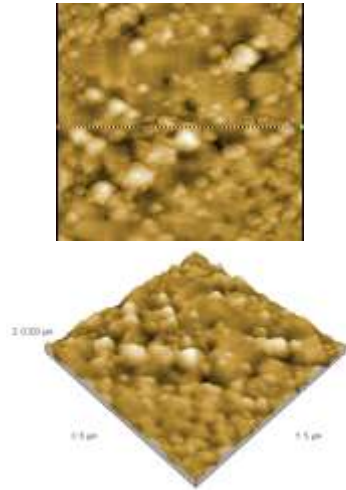
$$DR(\%) = \left(1 - \frac{HV^s}{HV^0}\right) \times 100 \quad (2)$$

حيث:

HV<sup>0</sup> القساوة المقاسة للغشاء pp-HMDSO الموضّع على ركازة Ti .

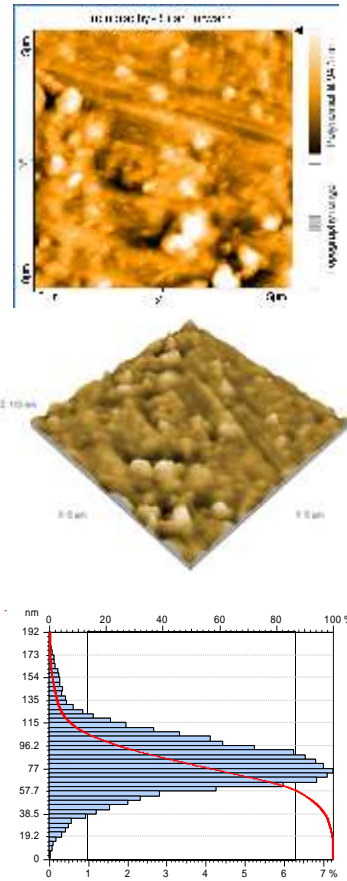


الشكل (8) صورة مجهر القوى الذرية (AFM) لركائز من التيتانيوم Ti الموضّع عليها سليكون العضوي HMDSO

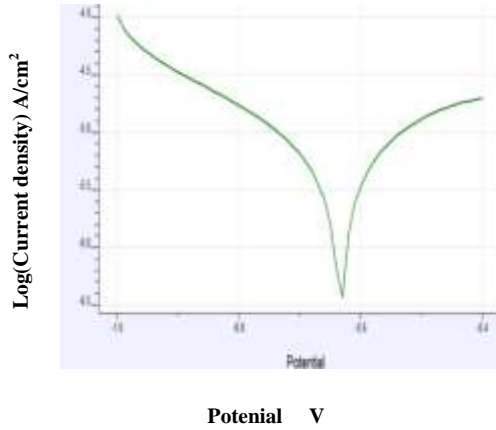


الشكل (9) صورة مجهر القوى الذرية (AFM) لركائز من التيتانيوم Ti المغلفة بالسليكون العضوي HMDSO الموضوعة في المحلول الفيزيولوجي.

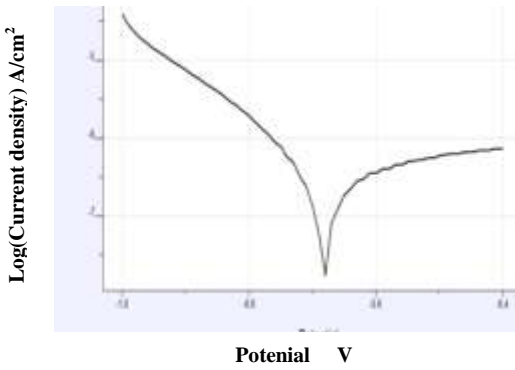
استُخدم مجهر القوة الذرية (AFM) Atomic Force Microscope من أجل رسم تضاريس السطوح للركائز من التيتانيوم Ti الموضّع عليها السليكون العضوي، ومثيلاتها المرجعية، إضافة إلى الركائز الموضوعة في المحلول الفيزيولوجي. توضح الأشكال (7) و(8) و(9) مورفولوجية السطح للعينات المذكورة أنفاً بأبعاد  $(5 \times 5 \mu\text{m}^2)$ ، حيث لوحظ أن عملية التوضيع التي نفذت على ركائز التيتانيوم Ti قد جعلت من السطح ذي خشونة معتدلة بالنسبة إلى سطح الركائز المرجعية، مما يدل على زيادة قدرة ارتباطها في أماكن الزرع ومن ناحية أخرى تتمتع هذه الأغشية بتوافقية حيوية عالية كونها مواد سليكونية عضوية، ولذلك ينصح بتطبيقها لتغليف الزراعات الطبية المعدنية الحيوية المختلفة.



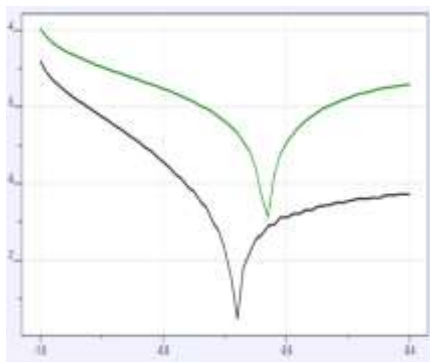
الشكل (7) صورة مجهر القوى الذرية (AFM) للعينات المرجعية لمعدن التيتانيوم Ti



الشكل (8) اختبار استقطاب تافل لتحليل معدل التآكل للتيتانيوم Ti في محلول NaCl 0.9%.



الشكل (9) اختبار استقطاب تافل لتحليل معدل التآكل للتيتانيوم Ti الموضَّع عليه سليكون عضوي في محلول NaCl 0.9% pp-HMDSO.



الشكل (10) مقارنة منحني الاستقطاب تافل لتحليل معدل التآكل للتيتانيوم Ti العاري و الموضَّع عليه سليكون العضوي HMDSO بعد وضعها في محلول NaCl 0.9% ويوضح الجدولان (5) و(6) كلاً من قيم كمن التآكل  $E_{corr}$  وكثافة تيار التآكل  $i_{corr}$  ومقاومة التآكل  $R_p$  ومعدل التآكل  $C.Rate$ .

يوضح الجدول (4) قيم الخشونة السطحية لكلٍ من العينات المرجعية، وتلك الموضَّع عليها السليكون العضوي HMDSO وثلاثة الموضوعة في المحلول المذكور آنفاً.

الجدول (4) قيم الخشونة السطحية

Sample	Roughness (RMS) (nm)
الركائز من التيتانيوم Ti	113
الركائز من التيتانيوم Ti الموضَّع عليها سليكون العضوي HMDSO	504
الركائز المغلفة بالسليكون العضوي HMDSO الموضوعة في المحلول الفيزيولوجي	323

### 3-3 التوصيف الكهروكيميائي:

أجريت قياسات الاستقطاب في خلية كهروليثة تقليدية Cell-4EL بثلاثة إلكترودات الشكل (c-2)، حيث استخدم فيها إلكترود الكالومل المشبع (SCE) وإلكترود بلاتين وإلكترود مرجعي ومساعد على الترتيب. يتمتع إلكترود العمل بشكلٍ اسطواني بمساحة سطحية للمقطع العامل تساوي  $0.7 \text{ cm}^2$ ، وكان معدل المسح  $200 \text{ mV/s}$  في المجال الواقع بين القيمتين  $[-1000, -400 \text{ mV}]$  وبخطوة  $10 \text{ mV}$ . سُمح بزمن استقرار 30 دقيقة قبل تسجيل كل منحنى. تبين الأشكال (8) و(9) و(10) منحنيات الاستقطاب تافل للتيتانيوم Ti العاري والمطلبي بـ pp-HMDSO وذلك بعد غمرهما في محلول 0.9% NaCl ( $p^H=5$ ) والمقارنة فيما بينها وذلك على الترتيب ولمدة عشرة أيام في درجة حرارة  $25^\circ\text{C}$ . يمكن تحديد كل من كثافة تيار التآكل ( $i_{corr}$ ) ومقاومة الاستقطاب ( $R_p$ ) باستخدام برنامج "IviumSoft". ومن الممكن أيضاً تقدير نسبة الحماية ( $P_i(\%)$ ) باستخدام المعادلة [15-16]:

$$P_i(\%) = \left(1 - \frac{i_{corr}}{i_{corr}^0}\right) \times 100 \quad (3)$$

حيث  $i_{corr}$  و  $i_{corr}^0$  هما كثافة تيار التآكل للفولاذ المطلبي بـ pp-HMDSO والفولاذ العاري بالترتيب.



(3) أوضحت هذه الدراسة ازدياد قيم القساوة الميكروية بشكل ملحوظ، حيث كانت قيمتها (427.6HV) للتيتانيوم Ti، أما قيمتها من أجل البنية المركبة Ti/HMDSO لأغشية من السليكون العضوي HMDSO والموضّعة بطريقة البخار الكيميائي المعزز بالبلازما (PECVD) ازدادت إلى (603.9HV) وأصبحت قيمتها بعد وضعها في المحلول (597.4HV)، وإن قيمة التدهور لهذه الأغشية تساوي 1% فقط.

(4) تؤدي الخواص السطحية للمواد المعدنية الطبية الحيوية دوراً مهماً وكبيراً في تحديد الاستجابة الخلوية (التصاق الخلايا وانتشارها على سطح هذه المعادن)، وبالتالي توافقها الحيوي، حيث تمكن البنية المجهرية لسطح التيتانيوم الموضّع عليه سليكون عضوي HMDSO والمستنتجة من مجهر القوة الذرية AFM القدرة على تحقيق التصاق خلوي عالي وإحداث تولد الأوعية على السطح، وبالتالي تحسن في عملية الاندماج العظمي. إذ ارتفعت قيم الخشونة السطحية من 113 nm إلى 504 nm، وهذا يؤدي بدوره إلى زيادة التماسك العظمي من جهة، إضافة إلى ديمومة الزرعات لأكثر من 15 سنة من جهة أخرى، وانطلاقاً من هذه النتائج يمكن استخدام هذه الزرعات في التعويضات السنوية والمفاصل بين العظام لتحقيقها أكبر قوة ترابط وتوافقية مع العظام وسوائل جسم الإنسان.

(5) نتيجة لزيادة مقاومة التآكل، وخاصة ضمن الأوساط المشابهة للأوساط الفيزيولوجية وزيادة القساوة السطحية، وتحسين المولفورجية السطحية للمواد المعدنية الموضّع عليها السليكون العضوي، فإن توضيح أغشية من هذه المادة يؤدي إلى زيادة الموائمة الحيوية، وبالتالي تقبل الجسم للزرعات المصنعة من التيتانيوم الموضّع عليه هذه الأغشية.

#### مسرد المصطلحات:

- Organosilicon: السليكون العضوي
- pp-HMDSO: سداسي ميثيل ديسيلوكسان المتبلورة بلازماً.
- (PECVD) : توضيح البخار الكيميائي المعزز بالبلازما

الجدول (5) قيم معدل التآكل المستنتجة من برنامج IviumSoft لتحليل لعينة Ti مرجعية بعد وضعها في المحلول

	Pol. Res.	Tafel data	Model data
$E_{corr}$ (V)	-0.6342	-0.6212	-0.6361
$i_{corr}$ (A)	4.983E-06	5.012E-06	9.741E-06
$I_{corr}$ (A/cm <sup>2</sup> )	3.322E-06	3.341E-06	6.494E-06
Rp (Ω)	1.003E04	1.376E04	1.088E04
C.Rate(mm/y)	0.03858	0.03881	0.07543

الجدول (6) قيم معدل التآكل المستنتجة من برنامج IviumSoft لعينة Ti/HDSMO بعد وضعها في المحلول

	Pol. Res.	Tafel data	Model data
$E_{corr}$ (V)	-0.6676	-0.6620	-0.6808
$i_{corr}$ (A)	3.826E-07	3.078E-07	6.45E-07
$I_{corr}$ (A/cm <sup>2</sup> )	2.55E-07	2.052E-07	4.3E-07
Rp (Ω)	1.307E05	1.877E05	1.339E05
C.Rate(mm/y)	0.007794	0.01012	2.441E-08

وتكون قيمة الحماية حسب العلاقة (3):

$$P_i(\%) = \left(1 - \frac{3.078E-07}{5.012E-06}\right) \times 100$$

$$P_i(\%) = 94\%$$

#### 4- الاستنتاجات الممكنة من البحث:

(1) وُظفت تقنية توضيح البخار الكيميائي المعزز بالبلازما (PECVD) لتحضير أغشية رقيقة من مادة السليكون العضوي HMDSO على كل من ركائز معدن التيتانيوم Ti ومثيلاتها من الكوارتز (QCM) وثالثة من السليكون.

(2) نُوقشت نتائج خواص هذا الغشاء من حيث زيادة مقاومته للتآكل، وذلك بالنسبة لأغشية السليكون العضوي الموضّعة على ركائز من التيتانيوم Ti/HMDSO ومثيلاتها المرجعية، حيث بينت هذه الدراسة أن مقاومة التآكل لأغشية HMDSO الموضّعة على التيتانيوم Ti، في وسط فيزيولوجي، تتمتع بمقاومة تآكل أعلى مقارنةً مع ركائز معدن التيتانيوم Ti نفسها، إذ وُجد تحسن واضح وكبير من ناحية مقاومة التآكل حيث ازدادت هذه المقاومة من (1.376×10<sup>4</sup>Ohm) إلى (1.877×10<sup>5</sup>Ohm)، ولوحظ أن تيار التآكل قد انخفضت قيمته من (5.012×10<sup>-6</sup> A) إلى (3.078×10<sup>-7</sup> A)، ويتعلق هذا بتغطية العيوب السطحية وتشكل طبقة واقية مقاومة للتآكل، وتكون قيمة الحماية المتعلقة بتوضيح هذا الغشاء تساوي 94%.

(Å)	• أبعاد الخلية الاولية a,b,c	• Quartz Crystal Microbalance (QCM) مجاوب
(V)	• $E_{corr}$ : كمون التآكل	• بلورة الكوارتز
(A)	• $i_{corr}$ : لوغاريتم تيار التآكل	• P: الضغط الأولي والضغط أثناء التجربة (mbar)
(Ohm)	• Rp: مقاومة التآكل	• $f_0$ : التواتر التجاوبي لبلورة ما ( $f_0=6.0$ MHz)
(mm/y)	• C: Rate: معدل التآكل	• $\rho_q$ : كثافة الكوارتز ( $2.65$ g cm <sup>-3</sup> )
	التمويل: هذا البحث ممول من جامعة دمشق وفق رقم التمويل (501100020595).	• $N_q$ : ثابت اهتزاز الكوارتز ( $1.67 \times 10^{-5}$ Hz.cm)
		• A: مساحة البلورة المطلية بالغشاء (cm <sup>2</sup> )
		• $d_f$ : ثخانة الغشاء الرقيق (nm)
		• $\rho_f$ : كثافة المادة المراد ترسيبها (g/cm <sup>3</sup> )

## Reference

1. Wrobel A.M and Wertheimer M.R, Plasma-polymerized organosilicones and organometallics Plasma Deposition, Treatment, and Etching of Polymers ed R d'Agostino (London: Academic, 1990, p.163
2. Zajickova L, Bursikova V, Janca J. Proceedings of the ICCP and 25th EPS Conference, Praha, Czech Republic, 22C, 1998, p. 2781.
3. Gaur S, Vergason G, Society of Vacuum Coaters, 43rd Annual Technical Conference Proceedings-Denver, April 15-20, 2000, p.267.
4. Cremona A, et al. J. Appl. Phys. 2005 ; 97 : 023533.
5. Lieberman M.A, Lichtenberg A.J, Principles of Plasma Discharges and Materials Processing, Wiley, New York, 1994.
6. Bonizzoni G, Vassallo E, Vacuum 2002;64: 327.
7. Gerrit Wulf. Bernd Mayer. Uwe Lommatzsch. Published: 4 January 2022 "Plasma Co-Polymerization of HMDSO and Limonene with an Atmospheric Pressure Plasma Jet". Plasma 2022, 5(1), 44-59.
8. S. Saloum, B. Alkhaled, W. Alsadat, M. Kakhia, S.A Shaker, 2018 "Plasma polymerized hexamethyldisiloxane thin films for corrosion protection". Modern Physics Letters B. Vol. 32, No. 03.
9. S. Saloum, M. Naddaf and B. Alkhaled, " Plasma polymerized Hexamethyldisiloxane thin films for corrosion protection" Vacuum 82 (2008) 742.
10. T. R. Gengenbach and H. J. Griesser, Polymer 40 (1999) 5079.
11. Y.-M. Ko, H.-C. Choe, S.-C. Jung and B.-H. Kim, Prog. Org. Coat. 76 (2013) 1827.
12. D. B. T. Mascagni et al., Mater. Res. 17 (2014) 1449.
13. H. M. Abourayana, N. A. Zreiba and A. M. Elamin, Int. J. Chem. Mol. Nucl. Mater. Metall. Eng. 5 (2011) 117.
14. E. Angelini, R. d'Agostino, F. Fracassi, S. Grassini and F. Rosalbino, Surf. Interface Anal. 34 (2002) 155.
15. Saurbrey G. Z Phys 1959; 155: 206.
16. S Saloum, S Abou Shaker , M.Nidal Alkafri ,Asmhan Obaid , Rokayya Hussin. Effect of surface modification on the properties of plasma-polymerized hexamethyldisiloxane thin films. Surf Interface Anal. 2019;51:754-762.
17. S.-M. Yang, Y.-Y. Chang, D.-Y Wang, D.-Y Lin and W. Wu, J. Alloys Compd. 440 (2008) 375.
18. K. Nozawa and K. Aramaki, Corros. Sci. 41 (1999) 57.