

تأثير المعاملة الليزرية على بعض الخواص البصرية لأغشية اوكسيد الحديدك Fe₂O₃

محمد حميد عبد الله, كيلان أسعد كاظم, رشدي إبراهيم جاسم
 /كلية العلوم/قسم الفيزياء, قسم الفيزياء /كلية التربية/قسم الفيزياء /كلية العلوم/جامعة ديالى/الجامعة المستنصرية
 جامعة ديالى

الخلاصة:

يتضمن هذا البحث دراسة تأثير ليزر (Nd-YAG) النبضي (Q-switching) ذو القدرة الواطئة (200mjoule) والطول الموجي (1.06µm)، على بعض الخواص البصرية لأغشية اوكسيد الحديدك (Fe₂O₃) المحضرة بطريقة التحلل الكيميائي الحراري، وجد أن هذه الأغشية التي جرى معاملتها ليزريا قد حدث لها تغير في خواصها البصرية .

Abstract

In this research, study the effect of low power laser (Q-switching) (Nd-YAG) of (200mjoule) and (1.06µm), on the some of optical properties of (Fe₂O₃) thin film prepared by chemical spray pyrolysis method, It has been found that laser treatment of the thin films were affected on optical properties.

Key words: Fe₂O₃ thin film, irradiation Fe₂O₃ thin film by Laser, optical constants of Fe₂O₃.

المقدمة

اوكسيد الحديدك أحد مركبات الحديدك، قاعدي أساساً ولو انه يظهر سلوك امفوتيري بدرجة ضئيلة إذ انه يذوب في القاعدة، وكذلك فان مركبات الحديدك تظهر صفات بارامغناطيسية عالية، أي ان الإلكترونات تبقى غيرمزدوجة يوجد اوكسيد الحديدك في الطبيعة على شكل هيماتيت ويمكن الحصول عليه بالتسخين الشديد لكبريتات الحديدوز وكذلك يمكن الحصول عليه من تأكسد الحديدوز عند إضافة القلويات إلى محلول الحديدوز. والجدولان (1) و (2) يبينان بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية لهذه المادة. أما من حيث التركيب البلوري فان مادة اوكسيد الحديدك ذات تركيب

بلوري سداسي ، كما يعد اوكسيد الحديدك شبه موصل من النوع السالب (n-type)، ولم نعثر على مصدر يشير إلى الحصول على اوكسيد الحديدك من النوع الموجب. [2]

الجزء العملي

1-تحضير الأغشية

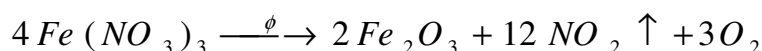
لتحضير أغشية اوكسيد الحديدك (Fe_2O_3) الرقيقة بطريقة لتحلل الكيميائي الحراري، استخدمت مادة نترات الحديد المائية ($Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$) وهي مادة صلبة ذات لون ابيض إذا كانت جافة تماماً، وذات لون برتقالي فاتح عند ذوبانها بالماء، وهي مادة سريعة الذوبان بالماء، وزنها الجزيئي (404.02 g/mol)، وقد تم تحضير محلولها بتركيز مولاري (0.1 mol/L) وذلك بإضافة (4.0402 gm) منها في (100 ml) من الماء المقطر بصورة تدرجية وباستخدام خلاط مغناطيسي (Magnetic Stirrer)، وبعد إكمال عملية الإذابة والحصول على المحلول المناسب يرشح جيداً باستخدام ورق الترشيح للحصول على محلول رائق متجانس خال من العوالق. واخيراً يوضع هذا المحلول في خزان جهاز الرش. واستخدمت والعلاقة الاتية للحصول على الوزن المراد اذابته ضمن العيارية في أعلاه:

$$M = (W_t / M_{wt}) \cdot (1000/V) \quad \dots (1)$$

حيث

($Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$) الوزن الجزيئي لمادة: الوزن المطلوب اذابته: V , حجم الماء المقطر: W_t , التركيز المولاري: M .

وبعد اكمال عملية الاذابة والحصول على المحلول يترك لمدة زمنية مناسبة لضمان تبريده قبل الرش، ثم يوضع في جهاز الرش بعد رشه وترسبه على القواعد الزجاجية المحضرة مسبقاً بعد ان يتم تنظيف القواعد جيداً بالكحول والماء نحصل على اغشية ثاني اوكسيد الحديدك وحسب المعادلة الكيميائية الاتية :



أن درجة حرارة القواعد الزجاجية المناسبة لتكوين أغشية أكسيد الحديد (Fe₂O₃) كانت 420°C وبضغط هواء مقداره 105N/m² داخل الغرفة الزجاجية في جهاز الرش، وأن معدل الترسيب الذي حصلنا منه على أغشية متجانسة هو (10cm³/min)، وارتفاع جهاز الرش (30cm) تقريباً عن القواعد الزجاجية، وبزمن ترسيب مقداره (15sec) لتجنب التبريد المفاجئ للقواعد الذي يؤدي إلى تشققات في القاعدة الزجاجية، ويعقب عملية الترسيب توقف لمدة (3 min) لضمان عودة الحرارة إلى القيمة الأصلية ولاتمام عملية الإنماء البلوري، وأن الأغشية التي تم الحصول عليها ذات لون بني محمر شديدة الالتصاق بالقاعد، استخدمت الطريقة الوزنية لقياس سمك الأغشية المحضرة، ولقد استخدم لهذا الغرض ميزان حساس من نوع (Mettler AE-160) ذي حساسية (10-4g)، وذلك بوزن القواعد قبل وبعد عملية الترسيب. أن الأغشية التي تم تحضيرها كانت بسمك 3000Å و 1000Å و 5000Å بعد فحصها باستخدام المجهر الضوئي (Optical microscope) تبين أنها متجانسة وشديدة الالتصاق بالزجاج و خالية من التشققات الدقيقة والتقوب الابرية .

2-القياسات التركيبية

باستخدام حيود الأشعة السينية تم تشخيص طبيعة تبلور الأغشية المحضرة. كما تم تسجيل جميع القياسات عند درجة حرارة الغرفة، وبعد إجراء الفحوصات التركيبية لكافة الأغشية المحضرة تبين أن هذه الأغشية ذات تركيب متعدد التبلور وكما في الشكل (1).

3-القياسات البصرية

تعتمد الخواص البصرية للأغشية الرقيقة على سمك الغشاء وتجانسه وتركيبه ومادة الغشاء وظروف تحضيره، وتعد هذه العوامل مسؤولة عن إظهار خواص اغشية أشباه الموصلات، استخدم مطياف (UV-160A UV-Visible Recording Spectrophotometer)، المجهز من قبل شركة (France)، لإجراء القياسات البصرية لمدى الأطوال الموجية nm (360-900). اشتملت القياسات البصرية على قياس الامتصاصية (Absorbance) والنفاذية (Transmittance) لمدى الأطوال المذكورة في أعلاه لأغشية أكسيد الحديد النقية والمحضرة عند درجة الحرارة أساس (420°C) ولكل الاسماك قبل وبعد المعاملة اليزرية .

4-التلدين

التلدين عبارة عن معاملة حرارية تتعرض فيها المنطقة المعالجة إلى عملية تسخين منتظمة لمدة زمنية معينة ، وبالتالي الحصول على منطقة بأقل عيوب ممكنة . [5] ويمكن تصنيف عمليات التلدين اعتمادا على نوع المصدر الحراري المستخدم وزمن التلدين إلى صنفين هما :-

(1) التلدين الحراري التقليدي

يستخدم في هذا النوع من التلدين الفرن الحراري لذلك يدعى بتلدين الفرن الحراري ، يتم هنا تسخين العينة بأكملها وبمدة زمنية لا تقل عن (30)دقيقة بينما الزمن اللازم لحدوث التوازن الحراري بين الفرن والعينة لا يقل عن (10)دقائق . أن زمن التلدين هذا قد يؤدي إلى تلوث المنطقة المعالجة عن طريق دخول شوائب غير مرغوب بها أو ربما تتم عملية أكسدة العينة نتيجة لتفاعلها مع الهواء المحيط ، لهذه الأسباب وغيرها أصبحت طريقة التلدين الحراري التقليدي محدودة الاستعمال في بعض مجالات التصنيع التقني [6].

(2) التلدين الحراري السريع

المصدر المستخدم في هذا النوع من التلدين هو إشعاع الليزر أو الحزم الإلكترونية ، فعند استعمال الليزر في التلدين يتم تسليط طاقة عالية على جزء صغير من المادة ثم يبرد بسرعة ، هذه الطاقة العالية تجعل التحركية الذرية عالية جدا . وعند تعريض المادة للتبريد السريع يؤدي إلى تحول جزء من المادة إلى حالة غير مستقرة قد ينتج عنها تحول في الطور . ويمكن تقسيم التلدين الحراري السريع إلى ثلاثة أقسام اعتمادا على زمن التلدين ودرجة الحرارة والانتشارية الحرارية للعينة:-[7].

a-التلدين الاديبياتيكي

في هذا النوع من التلدين يتم تشجيع السطح المعالج بالليزر ولمدة زمنية قصيرة جدا وذلك للتخلص من الانتشار الحراري داخل المادة . وهذا يؤدي إلى انصهار المنطقة القريبة من السطح بينما باقي أجزاء المادة تبقى محافظة على خصائصها الأصلية . ويستعمل الليزر النبضي وبزمن نبضة أقل من (μs) في هذا النوع من التلدين . حيث تتحول طاقة الإشعاع الساقط على شبكة المادة خلال مدة زمنية لا تتجاوز (μs) لذلك يؤدي إلى تسخين وصهر الطبقة القريبة من السطح [7].

b-التلدين بالفيض الحراري

في هذا النوع من التلدين لا تحدث عملية انصهار ، وإنما يتم التلدين والنماء البلوري من الطور الصلب (solid) [6], (SPE) (phase Epitaxy) أن زمن التلدين لليزر النبضي هنا يتراوح بين (3-10) ثانية والذي يكون غير كاف لحدوث عملية الانصهار . المصادر المستعملة في هذا النوع من التلدين هي الليزر المستمرة مثل ليزر ثاني أكسيد الكاربون المستمر (CW-CO2 Laser) وليزر ألاكرون (Ar Laser) وليزر الهليوم نيون (He-Ne) واستعملت أيضا الحزم الإلكترونية والمصابيح الوميضية . [5]

c-التلدين الايزوثيرمي

المصادر الحرارية المستخدمة في هذا النوع من التلدين تكون غير متشاكهة طيفيا (صفائح الجرافيت ومصابيح هالوجينية ومصابيح قوسيه) ، والتي يمكن خلالها إجراء عملية التلدين لمساحة كبيرة من العينة المراد معالجتها أكبر من المساحة التي تعالجها نبضة ليزر منفردة . وعملية التلدين هنا تحصل من الطور الصلب (SPE) أيضا ودون حدوث عملية انصهار ، حيث يتم رفع درجة حرارة السطح المعالج إلى درجة حرارة التلدين المطلوب بزمن قصير ومن ثم تحصل عملية التبريد عن طريق الإشعاع . [8]

5-تلدین أغشية اوكسيد الحديدك باليزر

أستخدم ليزر النديموم -ياك (Nd-YAG) النبضي (Q-switching) ذو القدرة الواطئة (200 m J) والطول الموجي $1.064\mu\text{m}$. الغرض تلدین أغشية اوكسيد الحديدك، ان ليزر النديموم -ياك هو احد ليزرات الحالة الصلبة والاكثرها شيوعا يتالف الوسط الفعال من بلورة عقيق البوتريوم المنيوم $(Y_3Al_5O_{12})$ والتي تدعى بالياك تعمل كوسط مضيف لايونات النديموم (Nd^{+3}) تعطي أيونات النديموم انتقالات ليزرية متعددة اشدها بين مستويات الطاقة $(^4I_{11/2} - ^4F_{3/2})$ شكل (2) والذي يعطي الطول الموجي $1.064\mu\text{m}$ يعمل هذا الليزر بموجة مستمرة او بشكل نبضي. [9.10]

النتائج والمناقشة

1-معامل الامتصاص (α) Absorption Coefficient

أن امتصاصية المادة تعتمد على معامل الامتصاص (α) والذي يعرف على أنه نسبة النقصان في فيض الإشعاع بالنسبة لوحدة المسافة باتجاه انتشار الموجة داخل الوسط. [11] ومن القانون الخاص بامتصاص الاشعاع تكون العلاقة بين شدة الضوء النافذ (I) وشدة الضوء الساقط (I_0) كما في المعادلة الاتية: [12]

$$I = I_0 e^{(-\alpha t)} \dots\dots\dots (2)$$

اذ ان:

t: سمك الغشاء الرقيق.

وبعد تبسيط المعادلة السابقة نحصل على:

$$\alpha t = 2.303 \text{Log} \frac{I_0}{I} \dots\dots\dots (3)$$

اذ ان المقدار $\left(\log \frac{I_0}{I} \right)$ يمثل A وهو امتصاصية الغشاء الرقيق، وان شدة الاشعة الساقطة تتناقص بشكل اسي خلال المادة $(e^{-\alpha t})$ ، فيكون (α) معامل الامتصاص والذي يمثل نسبة التناقص في طاقة الاشعاع خلال المادة وفق العلاقة التالية: [12]

$$\alpha = \frac{2.303 A}{t} \dots\dots\dots (4)$$

من خلال العلاقة (4) و بالاعتماد على طيف الامتصاصية A تم حساب معامل الامتصاص (α) للأغشية المحضرة قبل وبعد التلدين (المعاملة اليزيرية). (يلاحظ من الشكل (3) تغير معامل الامتصاص كدالة لطاقة الفوتون لأغشية اوكسيد الحديد لكافة للاسماك قبل المعاملة اليزيرية، اذ نلاحظ ان قيم معامل الامتصاص مع طاقة الفوتون قليلة عند الطاقات الواطئة ثم يزداد بصورة سريعة بالقرب من حافة الامتصاص البصري وعند مدى الطاقات $(1.3-2.2)eV$ بالنسبة للسمك 100Å و بزيادة السمك ترحف حافة الامتصاص نحو الطاقات العالية وفي نفس الوقت يزداد معامل الامتصاص. اما بعد المعاملة اليزيرية فنلاحظ نقصان واضح في قيم معامل الامتصاص و لكل الاسماك ولكن تبقى المنحنيات تمتلك نفس السلوك بعد التلدين عند مقارنة كل سمك، ويعزى السبب في ذلك الى ان التلدين قد أدى الى تقليل درجة التبلور والتي أثرت في عملية الامتصاص وقللت من الالكترونات التي يمكن ان تصل الى حزم التوصيل. [11]

2- Reflectance (R) الانعكاسية

تعرف الانعكاسية بأنها النسبة بين شدة الإشعاع المنعكس إلى شدة الإشعاع الساقط، والتي تم حسابها من طيفي

الامتصاصية والنفاذية بموجب قانون حفظ الطاقة [13]

$$R + T + A = 1 \dots\dots\dots (5)$$

حيث أن R: انعكاسية الغشاء T: نفاذية الغشاء A: الامتصاصية.

يبين الشكل (4) تغير الانعكاسية كدالة لطاقة الفوتون لأغشية (Fe_2O_3) ، ومن مقارنة منحنيات الانعكاسية قبل وبعد التلدين اليزيري نلاحظ أن أعلى قيمة تصلها الانعكاسية تكون مختلفة وخاصة عند الاسماك الكبيرة حيث تأخذ بالزيادة،

كذلك نلاحظ أن ذروة المنحني زحفت نحو الطاقات الفوتونية الواطئة بعد التلدين ، وبعد هذه الذروة نلاحظ هناك انحدار سريع في قيمة الانعكاسية ، وتفسير ذلك أن الامتصاصية يكون كبير جدا عند مدى الطاقات التي تاخذ عندها الانعكاسية بالانحدار وكذلك هناك تزايد في قيم النفاذية أيضا ولكل الاسماك عند هذه المديات بحسب معادلة.(5)

3-معامل الخمود (K_0) Extinction Coefficient)

يعرف معامل الخمود بأنه كمية الطاقة الممتصة في الغشاء الرقيق كما يمثل الجزء الخيالي

$$N = \frac{c}{V} = n_0 - iK_0 \dots \dots \dots (6) \quad \text{حيث}$$

V سرعة الضوء في الغشاء : n_0 : الجزء الحقيقي من معامل الانكسار ، و c سرعة الضوء في الفراغ:

[8,9,10] بموجب العلاقة الآتية (α) كما ويرتبط معامل الخمود بمعامل الامتصاص

$$K_0 = \frac{\alpha \lambda}{4\pi} \dots \dots \dots (7)$$

الطول الموجي بوحدات λ : حيث إن (cm) بوحدات α اذا كانت (1/cm) .

من خلال العلاقة (7) تم حساب معامل الخمود للأغشية المحضرة بيبين الشكل (5) تغيير معامل الخمود بوصفه كدالة لطاقة الفوتون لأغشية (Fe_2O_3) ذات الأسماك المختلفة قبل وبعد التلدين ، حيث نلاحظ ان زيادة السمك ادى الى زيادة معامل الخمود وبشكل ملحوظ أما بعد المعاملة الليزرية إذ نلاحظ أن معامل الخمود يقل عند مقارنة كل سمك قبل وبعد عملية التلدين ، ويعزى هذا إلى نقصان معامل الامتصاص وفق العلاقة (7)، كذلك نلاحظ أن ذروة المنحني زحفت نحو الطاقات الفوتونية الواطئة .

4-الانكسار (n_0) (Refractive Index) معامل

يرتبط معامل الانكسار مع انعكاسية الغشاء وفقا للعلاقة التالية: [12,13]

$$n_0 = \left[\left(\frac{1+R}{1-R} \right)^2 - (K_0 + 1)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{1+R}{1-R} \dots \dots \dots (8)$$

ومن العلاقة (8) تم حساب معامل الانكسار للأغشية المحضر .

يبين الشكل (6) تغير معامل الانعكاس بوصفه كدالة لطاقة الفوتون لأغشية (Fe2O3) قبل وبعد التلدين ، إذ نلاحظ أن طبيعة منحني معامل الانكسار مشابه لطبيعة منحنى الانعكاسية وذلك لارتباط الانعكاسية مع معامل الانكسار على وفق العلاقة (8) حيث نلاحظ ان زيادة السمك ادى الى زيادة معامل الانكسار ، أما بعد المعاملة اليزيرية إذ نلاحظ أن معامل النكسار يقل عند مقارنة كل سمك قبل وبعد عملية التلدين ، وكذلك نلاحظ أن قمة المنحنيات بعد التلدين زحفت نحو الطاقات الواطئة يعقب ذلك تناقص سريع ناتج من تناقص الانعكاسية.

5: ثابت العزل الكهربائي بجزئية الحقيقي والخيالي -

أن التفاعل بين الضوء وشحنات الوسط يحدث بسبب عملية امتصاص الطاقة في المادة وبالتالي حصول استقطاب لشحنات ذلك الوسط أن هذا الاستقطاب يوصف عادة بثابت العزل [12,14] الكهربائي المعقد للوسط (ε) والذي توصفه العادلة التالية

$$\epsilon = \epsilon_1 - i\epsilon_2 \dots \dots \dots (9)$$

اذ ان: ϵ_1 الجزء الحقيقي لثابت العزل الكهربائي (Real Part of The Dielectric Constant)

ϵ_2 : الجزء الخيالي لثابت العزل الكهربائي (Imaginary Part of The Dielectric Constant)

وباستخدام العلاقة (9) نحصل على :

$$\epsilon_1 - i\epsilon_2 = (n_0 - ik_0)^2 \dots \dots \dots (10)$$

ومن هذه العلاقة الأخيرة أمكن حساب الجزء الحقيقي والخيالي لثابت العزل الكهربائي وكما يأتي :

$$\epsilon_1 = n_0^2 - k_0^2 \dots \dots \dots (11)$$

$$\epsilon_2 = 2n_0k_0 \dots \dots \dots (12)$$

يبين الشكل (7) تغير الجزء الحقيقي لثابت العزل الكهربائي بوصفه دالة لطاقة الفوتون لأغشية (Fe2O3) قبل وبعد التلدين اذ نلاحظ ان ثابت العزل الكهربائي الحقيقي يبدأ بزيادة تدريجية في مدى الطاقات الواطئة ثم يبدأ بالهبوط في مدى الطاقات

العالية وان تغير ثابت العزل الكهربائي الحقيقي يعتمد على معامل الانكسار وفقاً للمعادلة (12)، إذ إن الحد الثاني (معامل الخمود) يكون صغيراً. أما بعد التلدين فيتبين لنا تغير في سلوك منحنيات ثابت العزل الكهربائي الحقيقي، إذ نلاحظ أن الثابت يقل عند مقارنة كل سمك قبل وبعد عملية التلدين، وأن ذروة المنحني زحفت نحو الطاقات الواطئة يعقبها هبوط سريع جدا. الشكل (8) يوضح تغير ثابت العزل الكهربائي الخيالي بوصفه دالة لطاقة الفوتون لأغشية (Fe_2O_3) المختلفة السمك قبل وبعد التلدين. إذ لوحظ أن هناك تأثيراً واضحاً على قيم ثابت العزل الكهربائي الخيالي إذ يزداد بزيادة السمك، ويعود السبب الى زيادة قيم معامل الخمود بزيادة السمك الناتج عن زيادة قيم معامل الامتصاص. أما بعد التلدين فإن ثابت العزل الكهربائي الخيالي يقل بشكل ملحوظ جدا عند مقارنة كل سمك قبل وبعد عملية التلدين، وأن ذروة المنحني زحفت نحو الطاقات الواطئة يعقبها هبوط سريع جدا.

الاستنتاجات

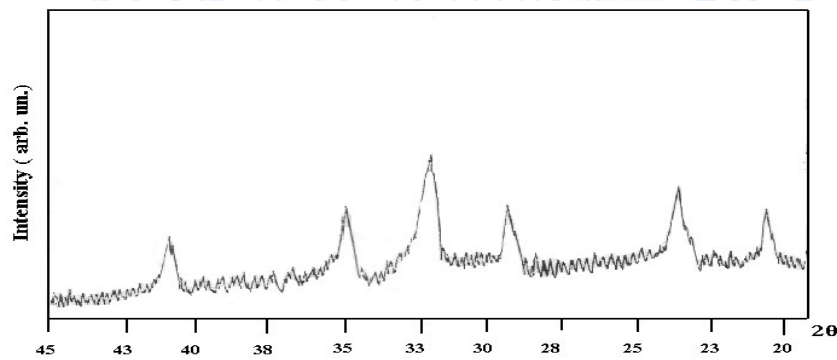
- 1- أدى زيادة سمك غشاء اوكسيد الحديدك (Fe_2O_3) إلى زيادة ملحوظة في الانعكاسية، معامل الانكسار، معامل الخمود و معامل الامتصاص.
- 2- أدى التلدين اليزري (المعاملة اليزرية) لأغشية اوكسيد الحديدك (Fe_2O_3) إلى نقصان في الانعكاسية، معامل الانكسار، معامل الخمود، معامل الامتصاص و قيم ثابت العزل الكهربائي الحقيقي و الخيالي

الجدول (1): بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية لاوكسيد الحديدك . [4]

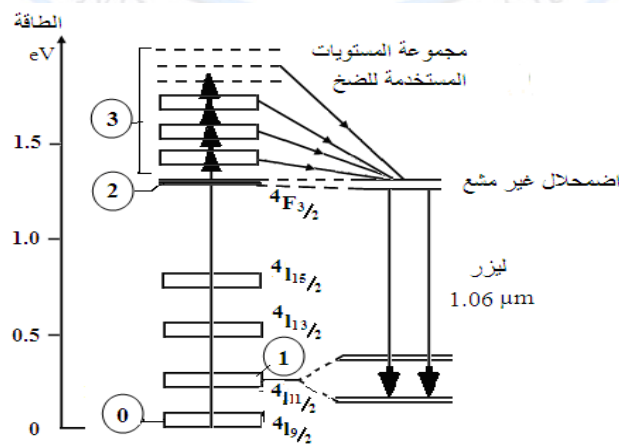
Formula weight (gm)	Density (gm/cm^3)	Meting point (C^o)	Color	Shape
159.69	5250	1565	Red-brown	Solid

الجدول (2): بعض الخصائص الكيميائية لأكسيد الحديد. [2,3]

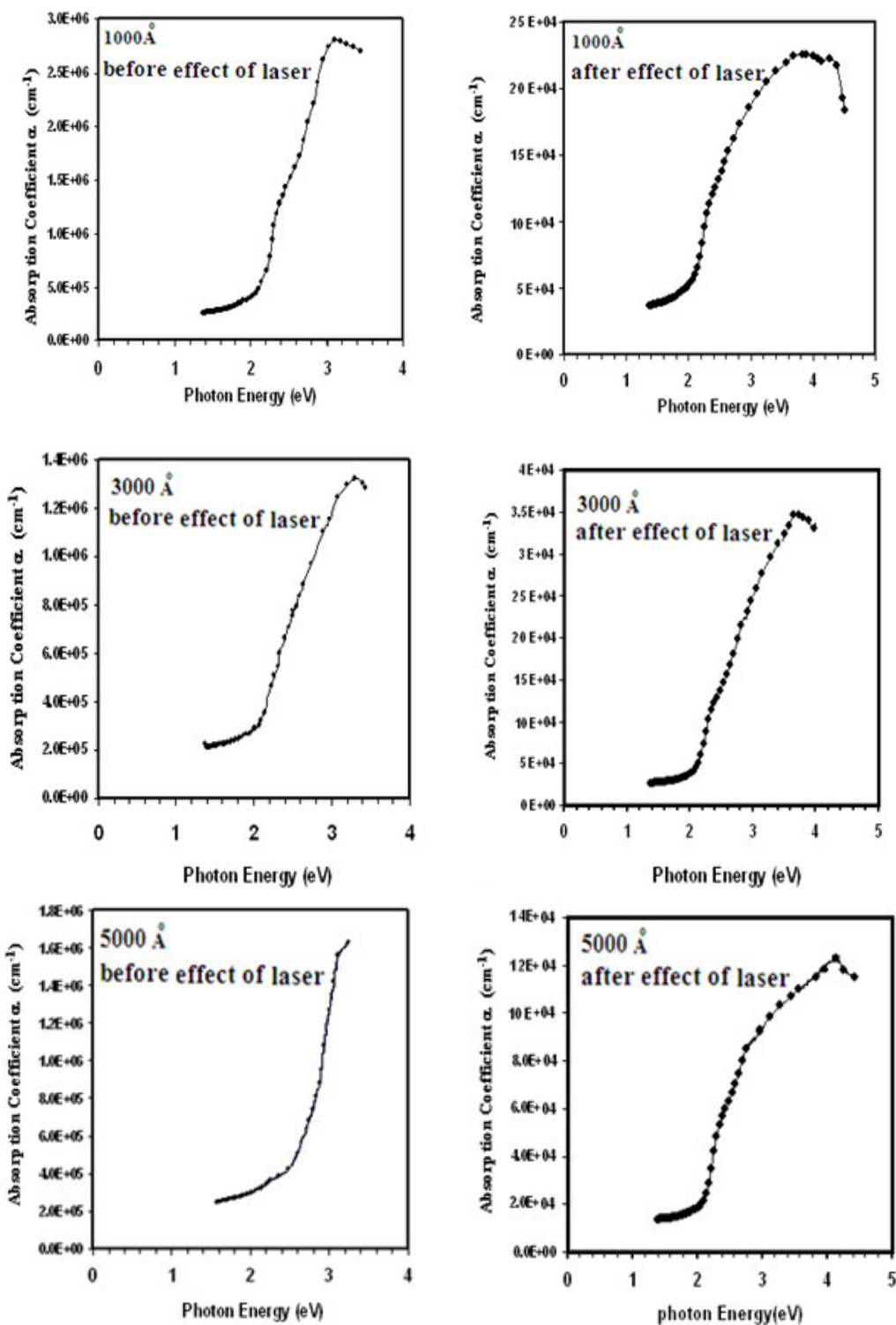
Formal element Co figuration	Formal Oxidation state	Element %
[Ar]. 3d ⁵	3	Fe: 69.94
[He]. 2S ² . 2p ⁶	-2	O: 30.06



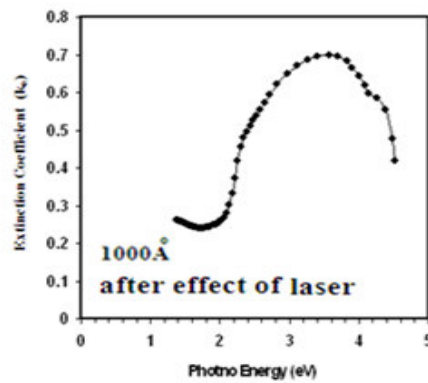
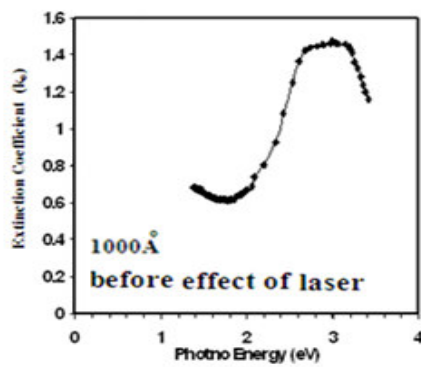
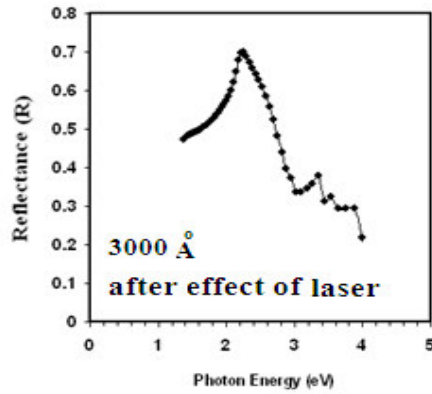
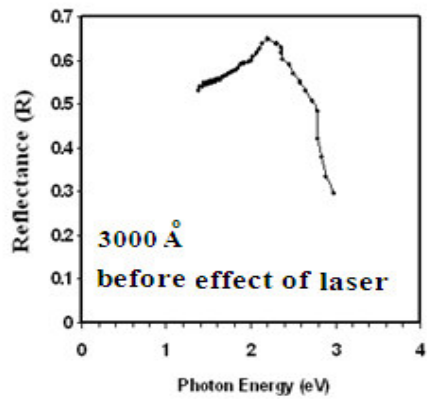
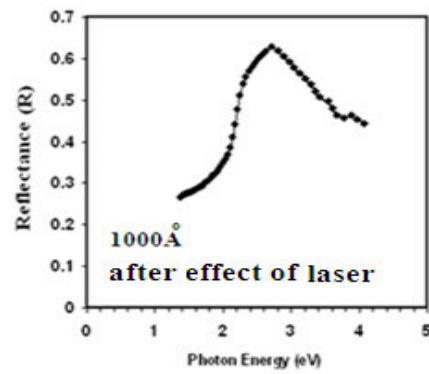
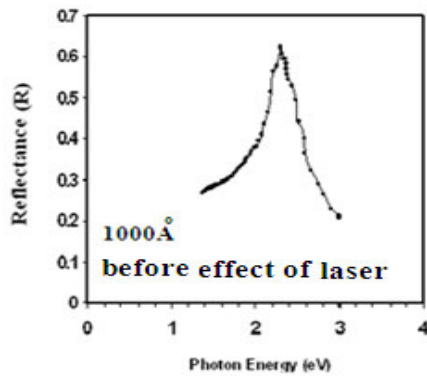
شكل (1): مخطط حيود الأشعة السينية لأغشية أكسيد الحديد Fe₂O₃



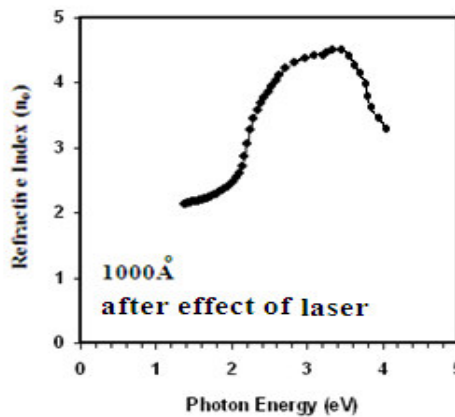
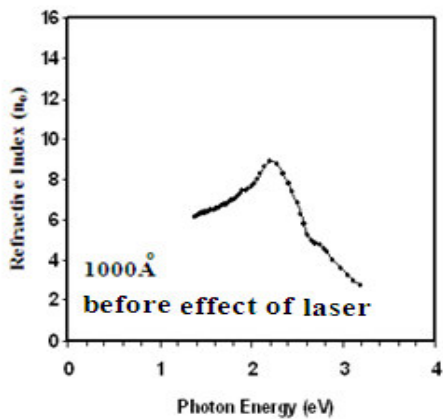
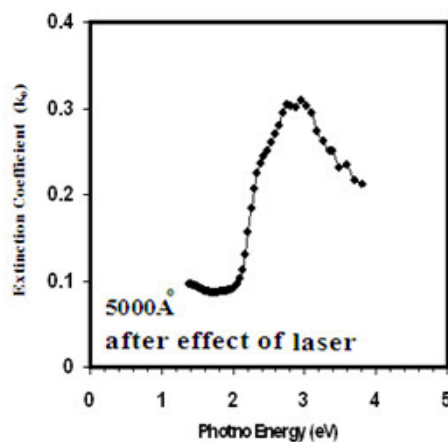
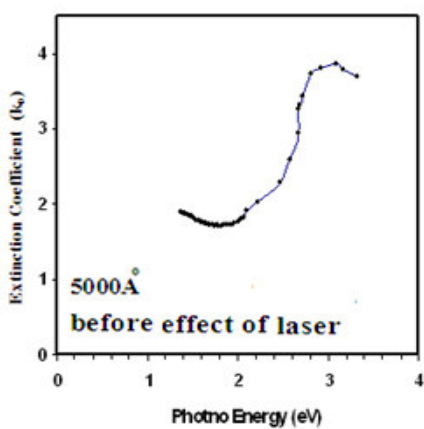
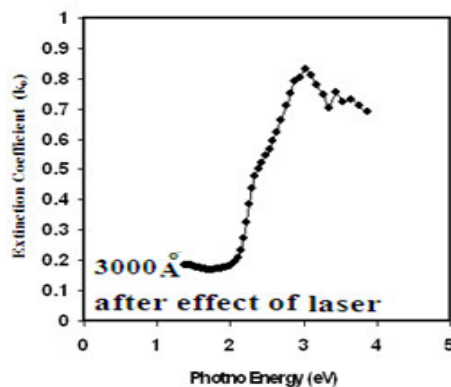
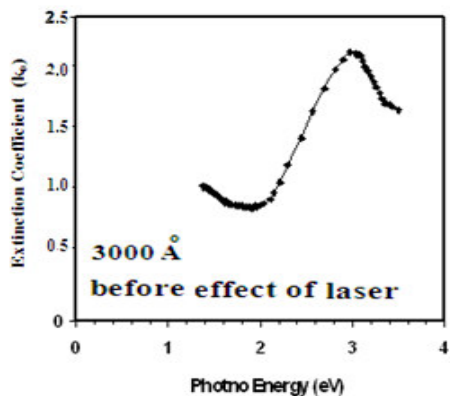
الشكل (2) : يبين مخطط مستويات الطاقة لأيون النديميوم في بلورة ياك



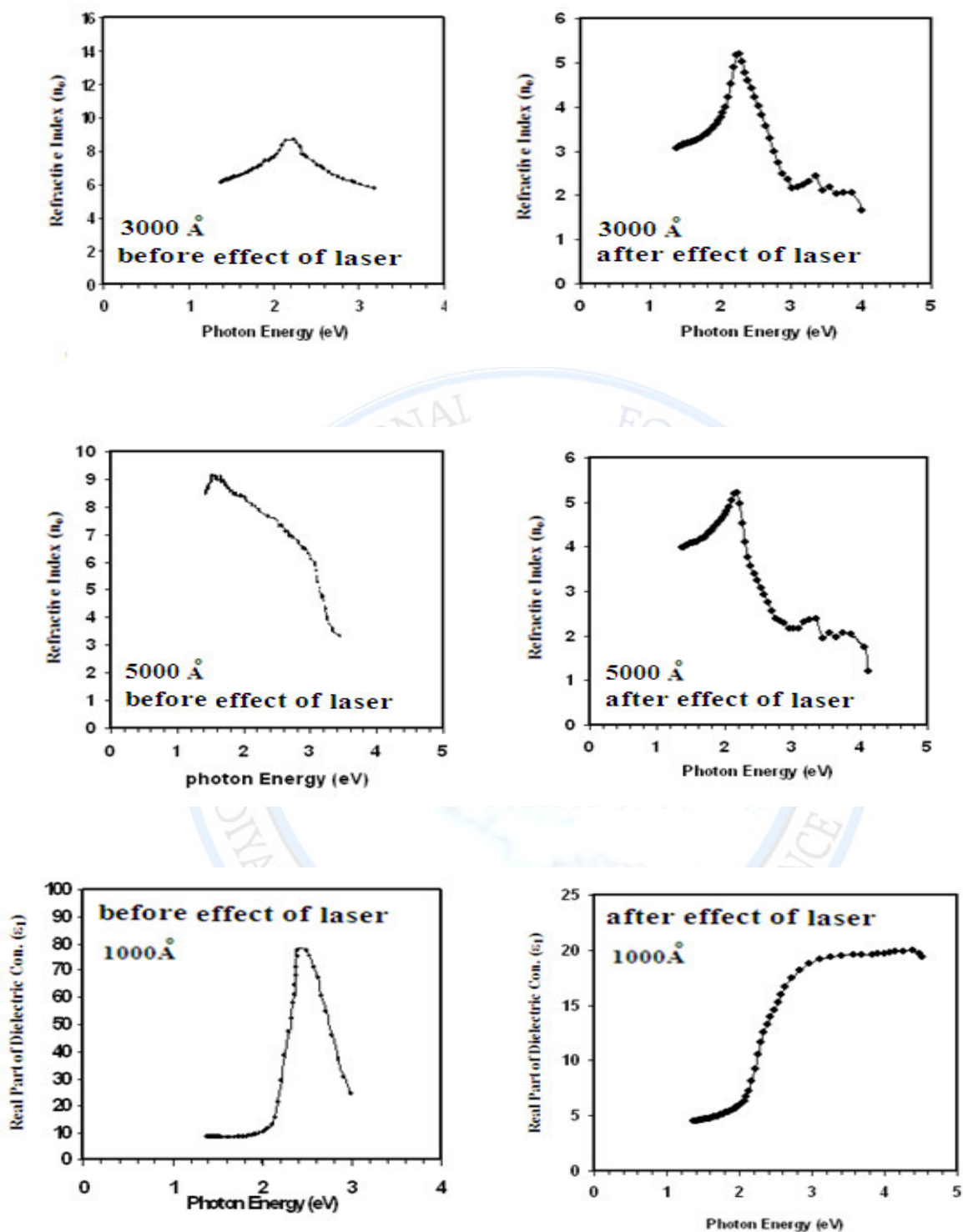
الشكل (3) يبين معامل الامتصاص كدالة لطاقة الفوتون للأغشية المحضرة بأسماك مختلفة قبل وبعد المعاملة الليزرية



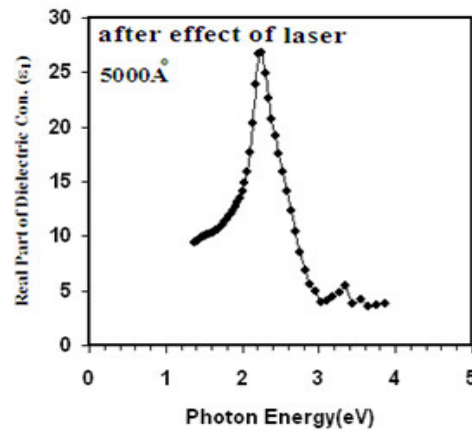
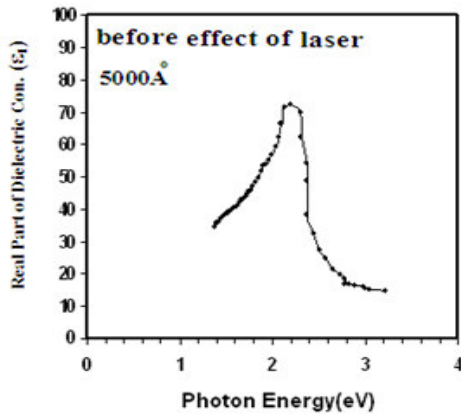
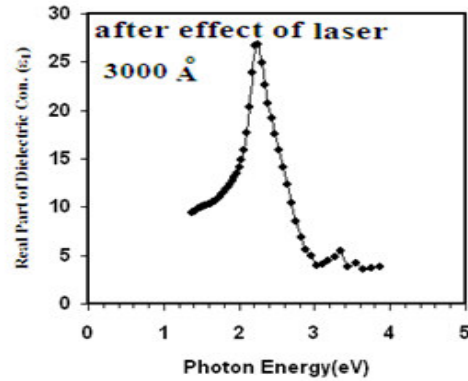
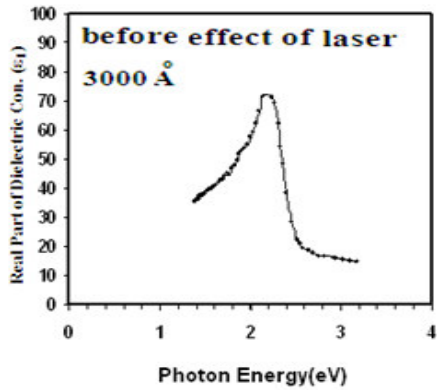
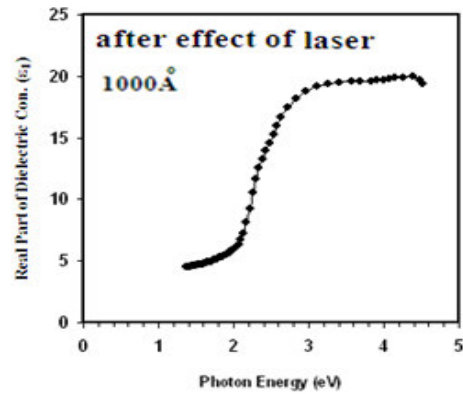
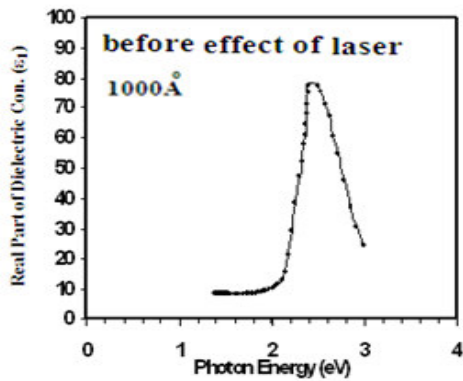
الشكل (4) يبين الانعكاسية كدالة لطاقة الفوتون للأغشية المحضرة بأسماك مختلفة قبل وبعد المعاملة الليزرية



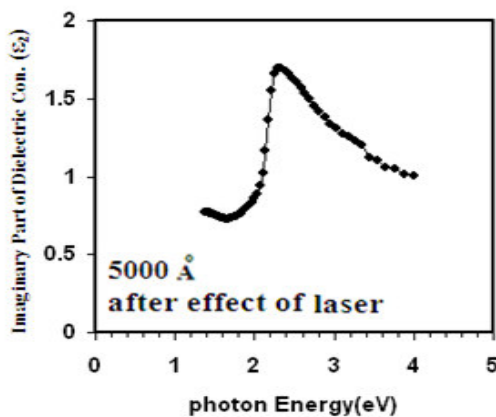
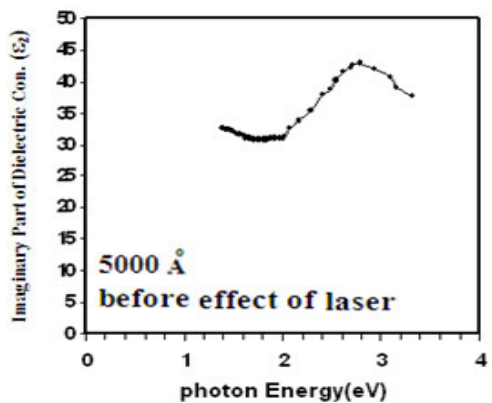
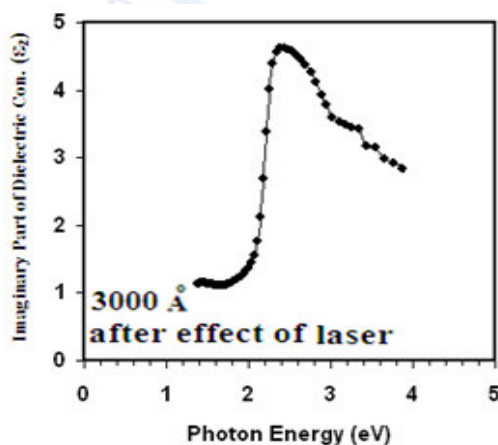
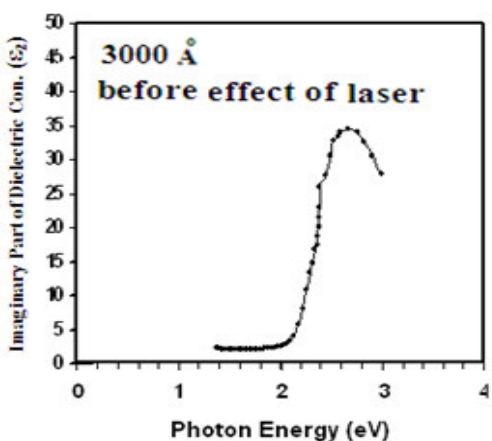
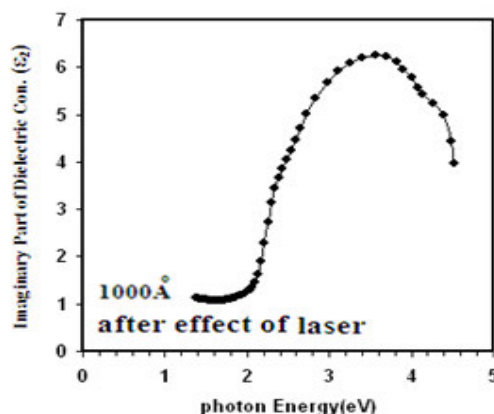
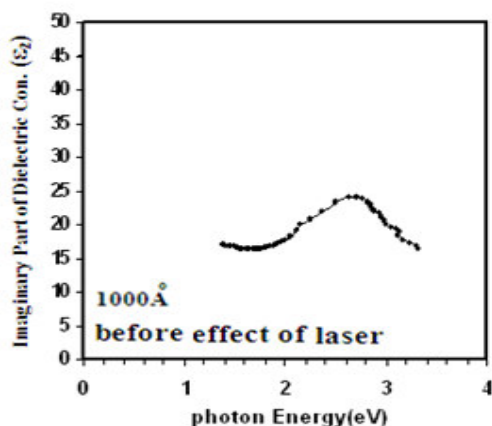
الشكل (5) يبين معامل الخمود كدالة لطاقة الفوتون للأغشية المحضرة بأسماك مختلفة قبل وبعد المعاملة الليزرية



الشكل (6) يبين معامل الانكسار كدالة لطاقة الفوتون للأغشية المحضرة بأسماك مختلفة قبل وبعد المعاملة الليزر



الشكل (7) يبين الجزء الحقيقي لثابت العزل الكهربائي كدالة لطاقة لفوتون للأغشية المحضرة بأ سماك مختلفة قبل وبعد المعاملة الليزرية



الشكل (8) الجزء الخيالي لثابت العزل الكهربائي كدالة لطاقة الفوتون للأغشية المحضرة بأسماك مختلفة قبل وبعد المعاملة الليزر

المصادر

- [1] 1986 حبيب عبد الاحد، جامعة الموصل، ، ترجمة د"الكيمياء اللاعضوية العامة " ، وفي جي. اي
- [2] R. T. Sander Son in chemical periodicity Rein hold. New York, USA, 1960.
- [3] J. A. Dean, "Lange's Hand Book of Chemistry", 1978.
- [4] A. R. West, "Basic Solid State Chemistry ", John Wiley and Sons, 1999.
- [5] (1995) رائد عبد الوهاب إسماعيل القيسي ، أطروحة دكتورا ، الجامعة التكنولوجية .
- [6] A.A.Istratova, H.Hieslmair, O.F.Vyvenko, E.R.Weber, R.Schindler, Solar Energy Materials and Solar Cells, 72,441, (2002).
- [7] R.Singh, J.Appl.phys.vol.63 No (8), p59, (1988).
- [8] R.Ebner, M.Radike, V.Schlosser, J.Summhammer, proceedings of the 17th European photovoltaic solar Energy conference and Exhibition, 80, (2002).
- [9] J.M.Poate. W.Moyer, "Laser Annealing of Semiconductors " Academic Press ch .1,3,4an5 (1982)
- [10] P.Dsc, "Laser and Optical Engineering " , Narosa publishing House, (1992).
- [11] N. F. Habubi, K. A. Misjal and A. F. Atwan, "The effect of fast neutron on the optical band gap of cobalt oxide thin film" J. of college of Education, No. 6, p. 41, (2000).
- [12] J. J. Pankove, "Optical processes in Semiconductors", print Ce-Hall (1971)
- [13] A. Tribble, "Electrical Engineering Materials and Devices", University of Iowa, 2002.