

## تصميم وتحضير نظام مضاد للانعكاسية عند مدى الأطوال الموجية ( 0.8- 1.5 ) مايكرومتر ولفادية اكبر من 90 % .

نايف حماد مشحن  
وزارة العلوم والتكنولوجيا  
دائرة علوم المواد

سليم عزارة حسين  
جامعة القادسية  
كلية علوم الحاسبات والرياضيات

### الخلاصة:

تم تحضير نظام طلاء متعدد الطبقات عديم الانعكاسية على أرضية من نوع Borosilicate crown glass (BK-7) ، وباستخدام طبقتين الأول من مادة (  $\text{TiO}_2$  ) وبسمك بصري مقداره ( 0.415 nm. ) والثانية من مادة (  $\text{SiO}_2$  ) وبسمك بصري مقداره ( 1.26 nm. ) ، وباستخدام مصدر ايوني نوع كوفمان بقطر ( 3 cm ) وبطاقة ايونات تتراوح ( 150-300 eV ) لغرض الحصول على أغشية مستقرة ، أظهرت النتائج ان النفاذية لهذا النظام قد ازدادت عند الطول الموجي ( 1060 nm. ) إلى قيمة 90.7 % .

**Design and preparation of an anti-reflective system when the extent of wavelengths (1.5 -0.8)  $\mu\text{m}$  with transmission of greater than 90%.**

### Abstract.

Was prepared in a multi-layered anti-reflection coating on the substrate of the type ((Borosilicate crown glass (BK-7), and by using two layers, the first layer ( $\text{TiO}_2$ ) with optical thickness of about (0.415 nm.) And the second layer ( $\text{SiO}_2$ ) with optical thickness of about (1.26 nm.), and using an ion source type Cofman with diameter (3 cm) and ions energy ranging (150-300 eV) for the purpose of obtaining stable films, the results showed that the transmittance of this system has increased when the wavelength (1060 nm.) To the value of 90.7%.

## 1-المقدمة

تستخدم الأغشية الرقيقة المتعددة الطبقات ( Multilayer thin films ) في التطبيقات العلمية وخاصة البصرية ، حيث يتم خلالها الحصول على سطوح بصرية ( Optical surfaces ) ذات خصائص انعكاسية او نفاذية معينة ولمناطق محددة من الطيف البصري ( فوق البنفسجية ، المرئية و تحت الحمراء ) ، ويتم ترسيب الأغشية الرقيقة ( Thin films ) على السطوح اعتمادا على الهدف المطلوب من ترسيب هذه الطبقات وكذلك على مدى الأطوال الموجية . ان الأغشية غير العاكسة للضوء والتي تطلّى بها العدسات في الأجهزة البصرية وكذلك الأغشية المستخدمة في الحصول على مرايا عاكسة للحرارة ( heat reflecting mirrors ) أو على مرايا تسمح للحرارة بالنفوذ ( heat transmitting mirrors ) ماهي إلا أمثلة عن بعض تطبيقات استخدام الأغشية الرقيقة ، وتستخدم الأغشية الرقيقة أيضا في المرشحات البصرية ( optical filter ) التي هي موضوع بحثنا هذا حيث يتم استخدام هذه الأغشية الرقيقة في عدة تصاميم ( أنظمة ) لتحسين الخواص البصرية وزيادة انعكاسية المرايا وخاصة المستخدمة في أنظمة الليزر وكذلك في المرشحات أحادية اللون أو ثنائية اللون حيث يلعب معامل الانكسار البصري لمادة الغشاء وكذلك معامل الانكسار للسطح المستخدم ( الأرضية ) دورا مهما في الوصول إلى تحقيق الهدف المطلوب من بناء هذه الأنظمة [1]

## 2-النظرية

يمكن حساب قيمة الانعكاسية ( R ) لسطح من مادة ما ذات معامل انكسار ( Refractive index ) مقداره (  $n_s$  ) لموجة ساقطة عموديا من وسط معامل انكساره (  $n_o$  ) من خلال العلاقة [2] .

$$R = (n_s - n_o)^2 / (n_s + n_o)^2 \dots\dots\dots(1)$$

ويبين الجدول (1) معامل الانكسار لبعض السطوح المستخدمة في التطبيقات البصرية حيث تشير وبوضوح إلى أن قيم الانعكاسية ( R ) المستحصلة وفقا للمعادلة رقم ( 1 ) تكون ضمن المدى % (4-36) ولغرض تجنب هذه الخسارة في شدة الحزمة الساقطة وكذلك تجنب تأثيرات التداخل ( Interference ) غير المرغوب فيها بين الحزمة الساقطة والحزمة المنعكسة فأن تطبيقات الطلاء المضاد للانعكاسية ( Anti-Reflection coating ) تصبح ضرورية في الحصول على تلك الخواص البصرية المشار إليها.

جدول رقم (1) [2] .

| No | Substrate                                | $n_s$ | $\lambda(\mu m)$ |
|----|------------------------------------------|-------|------------------|
| 1  | KDP (potassium dehydrogenate phosphate)  | 1.509 | 0.59             |
| 2  | Fused silica                             | 1.457 | 0.63             |
| 3  | BK-7(=Borosilicate crown glass (Schott)) | 1.516 | 0.59             |
| 4  | Nd-doped glass                           | 1.510 | 1.06             |
| 5  | Ruby ( $Al_2O_3$ )                       | 1.760 | 0.69             |
| 6  | YAG(=Yttrium aluminum garnet)            | 1.810 | 1.06             |
| 7  | Ca-Tungstate                             | 1.900 | 1.06             |
| 8  | Li-Niobate                               | 2.325 | 0.53             |
| 9  | ZnS-(Irtran II)                          | 2.200 | 10.0             |
| 10 | Arsenic trisulfide                       | 2.370 | 11.0             |
| 11 | Glass                                    | 1.460 | 0.55             |
| 12 | Germanium                                | 4.000 | 10.0             |

ان ايسط طلاء مضاد للانعكاسية ( Anti-Reflection-Coating ) يتمثل باستخدام طبقة واحدة من غشاء بسمك بصري مقداره ربع طول موجي وبما يضمن تحقيق شرط الحصول على طلاء مضاد للانعكاسية بطبقة واحدة وكما عبر عنه Macleod وكما يلي [3] .

$$n_1 = (n_o n_s)^{1/2} \dots\dots\dots(2)$$

حيث (  $n_1$  ) تشير الى معامل انكسار مادة الطلاء وعند تحقيق المعادلة ( 2 ) يمكن للأرضية إن تعطي انعكاسية قريبة من الصفر (  $R \approx 0$  ) ، ومن نفس المعادلة أعلاه من الواضح إن اقرب مادة متوفرة ذات استقرارية كيميائية عالية معامل انكسارها هو (  $n_1 = 1.38$  ) وهو يمثل معامل انكسار لمادة ثاني فلوريد المغنسيوم (  $MgF_2$  ) ذات الاستخدامات المميزة في التطبيقات البصرية حيث يمكن استخدام هذه المادة في طلاء مضاد للانعكاسية للأرضيات ( ذات معامل انكسار (  $n_s = 1.9$  ) حيث تصبح قيمة الانعكاسية قريبة من الصفر وأما إذا كانت الأرضية ذات معامل انكسار (  $n_s = 1.8$  ) فمقدار الانعكاسية الناتجة تمثل (  $R = 0.1\%$  ) ولأرضية ذات معامل انكسار (  $n_s = 1.7$  ) فإن (  $R = 0.3\%$  ) و لـ (  $n_s = 1.5$  ) تصبح (  $R = 1.4\%$  ) ، علماً إن قيمة الانعكاسية (  $R$  ) المؤشرة في أعلاه حسبت حسب العلاقة التالية [3] .

$$R = \left[ \frac{n_o - n_1^2/n_s}{n_o + n_1^2/n_s} \right]^2 \dots\dots\dots(3)$$

أي إن مقدار الانعكاسية لهذا النظام وكما تشير قيم الانعكاسية (  $R$  ) المستنتجة من المعادلة ( 3 ) يكون مقبولا تماما ( تحقق شرط مضاد للانعكاسية بشكل تام ) للأرضيات ذات معامل انكسار (  $n_s = 1.9$  ) و (  $n_s = 1.8$  ) ولكنه لا يكون مقبولا تماما للأرضيات ذات معامل انكسار (  $n_s < 1.8$  ) أي إن طلاء مضاد للانعكاسية بطبقة واحدة يصبح غير مناسب للأرضيات ذات معامل انكسار واطئ ( Low refractive index ) وهذا يعني إن هنالك نسبة كبيرة من السطوح ( الأرضيات ) المشار إليها في الجدول رقم ( 1 ) تصبح غير مناسبة لمثل هكذا طلاء . وفي هذه الحالة فأن طلاء مضاد للانعكاسية بطبقتين يصبح هو الملائم في تحقيق قيم للانعكاسية تكون ملائمة (  $R \approx 0$  ) .

في الحالات التي تكون فيها نتائج الطلاء المضاد للانعكاسية بطبقة واحدة غير ملائمة للتطبيقات المطلوبة فأن طلاء مضاد للانعكاسية بطبقتين أو أكثر تصبح أكثر ملائمة ، ولتطبيقات معينة مثلا التطبيقات الليزرية فإنه قد يكون من الملائم تقليل الانعكاسية إلى اقل حد ممكن ولطول موجي معين وهذا يمكن ان يحدث من خلال استخدام طبقتين أو أكثر وفي مثل هذا النظام فأن ايسط طلاء مضاد للانعكاسية وبطبقتين يمكن إن يتم باستخدام أغشية ذات سمك بصري مقداره ربع طول موجي لكل طبقة . وحينذاك يمكن الحصول على انعكاسية (  $R = 0$  ) من خلال تحقيق الشرط الآتي [2] .

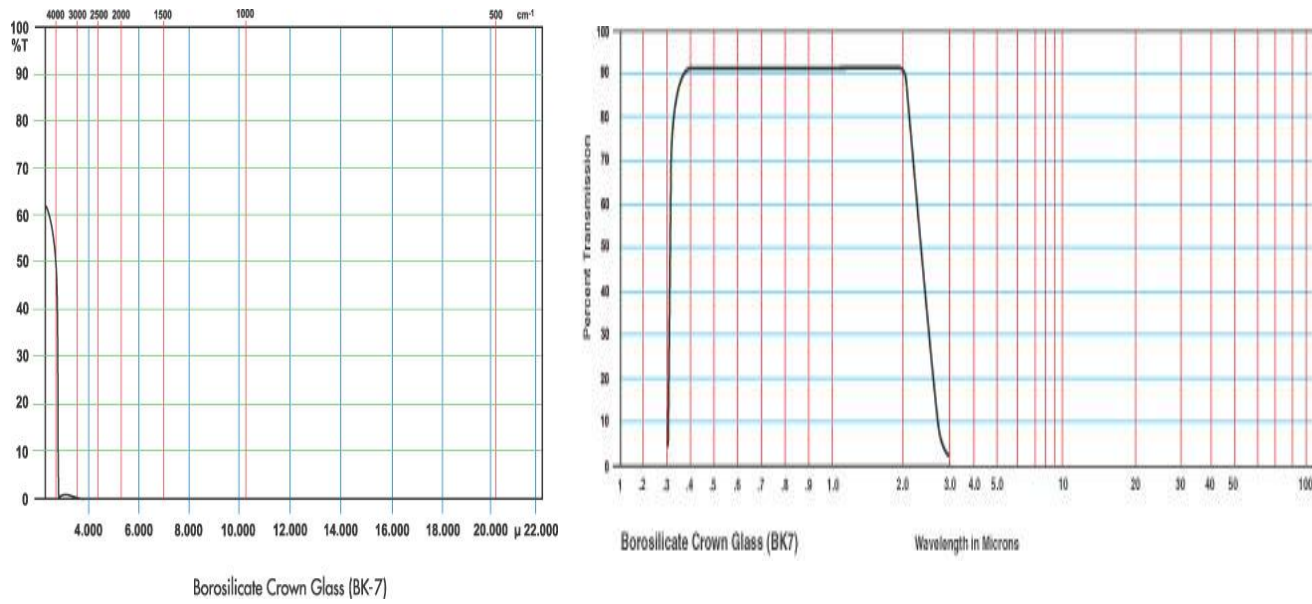
$$\left( \frac{n_1}{n_2} \right)^2 = \left( \frac{n_o}{n_s} \right) \dots\dots\dots(4)$$

كما يمكن حساب مقدار الانعكاسية (  $R$  ) لطلاء مضاد للانعكاسية وبطبقتين من خلال العلاقة الآتية [3] .

$$R = \left[ \frac{n_o - (n_1^2/n_2^2)n_s}{n_o + (n_1^2/n_2^2)n_s} \right]^2 \dots\dots\dots(5)$$

ومن العلاقتين ( 4 ) و ( 5 ) لأرضيات من الزجاج ( glass ) معامل انكسارها (  $n_s = 1.5$  ) ( جدول رقم 1 ) فأن معاملات الانكسار المثالية للأغشية التي من الممكن استخدامها لتحقيق طلاء مضاد للانعكاسية هي (  $n_1 = 1.38$  ) للطبقة الخارجية و (  $n_2 = 1.7$  ) للطبقة الداخلية [2] .

إما الأرضية فأن أرضية BK-7 ( Borosilicate Crown Glass ) تمثل الخيار الأفضل في نظامنا هذا حيث تمتاز هذه الأرضية بكونها ذات نفاذية عالية ضمن الطوال الموحية (  $0.4 - 1.4 \mu m$  ) ويوضح الشكل رقم ( 1 ) طيف النفاذية لهذه الأرضية [4] .



شكل رقم (1) [4]

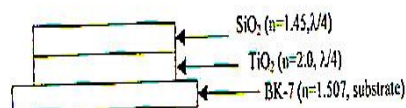
وتستخدم هذه الأرضيات في التطبيقات البصرية وخاصة المرشحات والمرايا الليزرية ومنها ليزرات Nd-YAG ذات طول الموي  $1.06 \mu\text{m}$  وباستخدام المعادلتين (4 و 5) يمكننا التوصل إلى أن أفضل مادة ذات استقرارية كيميائية عالية ومعاملات انكسارها قريبة من شرط الحصول على طلاء مضاد للانعكاسية هما  $(\text{TiO}_2)$  ذو معامل الانكسار  $(n=2.0)$  و  $(\text{SiO}_2)$  ذو معامل الانكسار  $(n=1.45)$ . ويوضح الجدول رقم (2) ترتيب هذا النظام والسلك البصري لكل طبقة، والسلك البصري  $(\alpha)$  المطلوب تحضيره وبما يحقق ربع طول موجي يكون مساويا إلى  $\alpha_j = n_j d_j / (\lambda_o / 4)$  حيث ان  $(j)$  تشير إلى رقم الطبقة المرسبة و  $(d)$  يشير إلى السلك الفيزيائي إما  $(\lambda_o = 1.065 \mu\text{m})$  [5] وبهذا فإن النظام سوف يكون بالشكل الآتي :-

الجدول رقم (2)

| Material               | Air | $\text{SiO}_2$ | $\text{TiO}_2$ | BK-7  |
|------------------------|-----|----------------|----------------|-------|
| Refractive index       | 1.0 | 1.45           | 2.0            | 1.505 |
| Optical Thickness (nm) |     | 1.26           | 0.415          |       |

## 3-الجزء العملي .

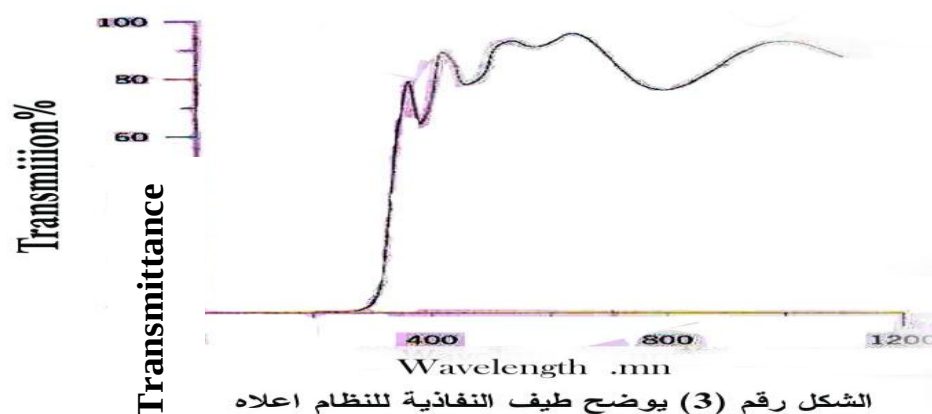
تم تحضير نظام متعدد الطبقات عديم الانعكاسية مكون من المواد المبينة في الجدول رقم (2) باستخدام المنظومة A700Q والمجهزة من شركة (Leybold-Heraeus) وباستخدام القاذف الإلكتروني ذو قدرة 6 كيلو واط والمجهز بمذبذب لتحريك الحزمة الالكترونية بالاتجاهين Y,X وبتردد يتراوح بين 1 ولغاية 500 هرتز ، وتمت السيطرة على معدل الترسيب وسمك الأغشية المرسبة باستخدام وحدة المرقاب البلوري ( Quartz Crystal Monitor ) والمنظومة مجهزة بنظام تفريغ متكامل ( مضخة ميكانيكية دوارة ، مضخة تربو جزئية إضافة إلى صمامات غلق وفتح ووحدات قياس الضغط ) يصل الضغط الأدنى ( $4 \times 10^{-7}$ ) ملي بار ، وقد تم إجراء عملية التنظيف الكيماوي لأرضيات BK-7 . لغرض الحصول على أغشية مستقرة وذات مواصفات بصرية عالية تم استخدام مصدر أيوني نوع كوفمان ذو قطر 3 سم وبطاقة أيونات تتراوح بين 150-300 إلكترون فولت ، حيث تعمل هذه الأيونات على إزالة ما تبقى من شوائب على سطح الأرضية وزيادة كل من كثافة الرص ومعامل الانكسار والنقاوة الكيماوية للأغشية المحضرة [6] . ولغرض الحصول على أغشية متجانسة بالسمك تم تحريك حامل العينات بسرعة 20 دورة في الدقيقة ، وكان معدل الترسيب لمادة  $\text{TiO}_2$  (0.1) نانومتر لكل ثانية ولمادة  $\text{SiO}_2$  (0.8) نانومتر لكل ثانية ويوضح الشكل رقم (2) الترتيب الهندسي لهذا النظام ولغرض تحسين طبقات النظام فقد رسبت الأغشية بدرجة حرارة أرضية 270 درجة مئوية ، حيث إن زيادة درجة حرارة الأرضية يعمل على زيادة التصاقية الأغشية المحضرة وكذلك زيادة الصلادة [6].



شكل رقم (2)

## 4-النتائج والمناقشة

تم استخدام مطياف ضوئي مجهز من قبل شركة ( Shimadzu ) نموذج 190 ذو حزمة مزدوجة وضمن الأطوال الموجية ( 1100-200 ) نانومتر في قياس الخواص البصرية حيث يبين الشكل رقم (3) طيف النفاذية لأرضيات من مادة ( BK-7 ) بعد ان طليت بنظام عديم الانعكاسية المشار إليها عند الطول الموجي ( 1060 nm ) إلى قيمة ( 90.7% ) وكما مبين ذلك في الشكل رقم (3)، وهذا يعني إن بناء هذا النظام قد أكد على تحقيق النظرية المشار إليها في المصادر ذات العلاقة [5,6,7] في بحثنا هذا . وبمقارنة هذه النتيجة مع نتائج الدراسات السابقة والمستخدمه لهذه المواد (  $\text{TiO}_2$  ,  $\text{SiO}_2$  ) في الحصول على طبقة مضادة للانعكاس عند الأطوال الموجية المطلوبة ، نجد ان نتيجة بحثنا هذا والمبينة في الشكل رقم (3) كانت متميزة في الحصول على حزمة نطاق ضيقة ومميزة للعمل كمرشح عند الطول الموجي المطلوب ( 1060 nm ) ، مقارنة مع عرض نطاق واسع وكما مبين ذلك في البحوث السابقة [8,9,10] ، إضافة إلى إن استخدام أرضيات ( BK-7 ) ولما تتمتع بها ( 1060 nm ) من خواص مميزة للاستخدامات البصرية المختلفة يمكن إن يعزى إلى هذه النتيجة والتي تجعل من هذا التصميم مميزاً.



## 5-Reference

- [1] J. T. Cox, G. Hass and G. F. Jacobus; J. of the optical society of America. V.51 , No.7, July (1961) 714.
- [2] F. T. Arecchi and E. O. Schulz , Laser Handbook V-II, ch9. North – Holland publ. co. Amsterdam 1972.
- [3] H. A. Macleod , Thin – Film optical Filters (Third edition , published by institute of physics publishing , wholly owned by the institute of physics , London, 2001 ) chap.3.
- [4] International Crystal Laboratories ( Optical & Spectroscopy supplies & Accessories)  
iclmail@internationalcrystal.net.
- [5] K. Rabinovitch and A. Paois , Applied Optics , V- 21, No.12 (1982) 2160
- [6] Denton Vacuum . Report , 1259 North church st. Moorestown , NJ 08057 .
- [7] J. T. Cox and G. Hass , J. of the Optical Society of America . V-48 No.10 . (1958) 677.
- [8] O. Durk , H. Z. Durusoy , Turk. J. Phys. 28 (2004) 139-144.
- [9] X. T. Zhang, O. Sato, M. Taguchi, Y. Einaga, T. Murakami and A. Fujishima , Chem. Mater. 17(3) (2005) 696-700.
- [10] D. Lee , D. Omolade, R. E. Cohen, and M. Rubner, Chem. Mater. 19(6) (2007) 1427-1433.