

دراسة وحساب عمق المجال النشط ضوئياً لأغلفة عاكسة للضوء أساسها مساحيق أكسيد الزنك

الدكتور حسن سليمان*

(تاريخ الإيداع 5 / 6 / 2016. قُبِلَ للنشر في 18 / 10 / 2016)

□ ملخص □

نعرض في هذا البحث نتائج دراسة وحساب عمق المجال النشط ضوئياً لغلّاف عاكس لضوء بطريقة الانتثار تبعاً لتشتتية أو انتشارية حبيبات الصبغة المستعملة في الغلاف ولطول موجة الإشعاع الكهروضوئي الوارد عليه حيث تغيرت أبعاد حبيبات مسحوق أكسيد الزنك ضمن المجال من $0.2 \mu\text{m}$ حتى $10 \mu\text{m}$. يدخل في تركيب الغلاف العاكس للضوء مسحوق أكسيد الزنك ZnO وطبقة عضوية تكون بمثابة غشاء رابط. كما تم حساب أعماق المجال النشط ضوئياً للغلّاف العاكس للضوء بطريقة الانتثار عند تغير معامل امتصاص الصبغة الداخلة في تركيب الغلاف (ZnO / رابط) ضمن المجال من 0.1cm^{-1} إلى أكثر من 1000cm^{-1} . إن النتائج التي حصلنا عليها في هذا البحث تسمح لنا بتحسين سماكة الأغلفة العاكسة للضوء بطريقة الانتثار لدى تحضير أنواع محددة منها.

الكلمات المفتاحية: مسحوق أكسيد الزنك - صبغة - غشاء رابط - الانتشارية - معامل الانعكاس - معامل النفوذ - الامتصاصية - عمق المجال النشط ضوئياً.

* أستاذ مساعد - كلية العلوم - قسم الفيزياء في جامعة طرطوس.

Study and Calculation of the Depth Optically Active Range of Based on Zinc Oxide Powder Light-Reflecting Coatings

Dr. Hassen Sliman[†]

(Received 5 / 6 / 2016. Accepted 18 / 10 / 2016)

□ ABSTRACT □

In this research we present results of the studying and calculating the optically active range depth for diffuse light reflected coating at change of the dispersiveness of pigment grains used in coating and wavelength of incident electromagnetic radiation. This coating consists of zinc oxide powder and organic material that acts as a binding film. The size of zinc oxide powder grains were changed between 0.2 μm and 10 μm . In addition, the depths of optically active range of diffuse light reflected coating were calculated when the absorption coefficient of the pigment used in the ZnO/binder coating changed between 0.1 cm^{-1} and 1000 cm^{-1} . The obtained results allow us optimization of the diffuse light reflecting coatings thickness at preparation determined kinds of them.

Key words: Zinc Oxide Powder – Pigment – Binder – dispersiveness – Coefficient of Reflection – Coefficient of Transmittance – Absorbance – depth of Optically Active Range.

[†] Associate Professor, Tartous University, Science Faculty, Department of Physics.

مقدمة:

إن أكسيد الزنك ZnO مادة لا لون لها، وكثافته 5.6 gr/cm^3 ، ونقطة انصهاره $1975 \text{ }^\circ\text{C}$ [1]. وتتحل هذه المادة في معظم الأحماض والقلويات لكنها ضعيفة الانحلال في الماء وتتفكك في درجات الحرارة العالية [2,3]. ويُعدُّ ZnO أحد أهم المركبات الثنائية II-VI نصف الناقلة وبنيتها البلورية هي بنية الفورتسيت السداسية Hexagonal Wurtzite وناقليته الكهربائية الطبيعية من النوع n- ويتصف باتساع منطقتيه المحظورة المباشرة التي تبلغ 3.37 eV في درجة حرارة الغرفة، وبطاقة ارتباط إكسيتوني كبيرة ($\sim 60 \text{ meV}$) [4-6] ويقوم عالية لنفوذية الضوء في المجال المرئي من الطيف ويمكن التحكم بقيم المقاومة النوعية للأفلام الرقيقة المصنوعة من ZnO القيمين $10^{-4} \Omega \text{ cm}$ و $10^{-3} \Omega \text{ cm}$ بتغيير شروط معالجتها حرارياً وبالتطعيم [7].

ويزداد نظرياً عرض المنطقة المحظورة في سلسلة الهالوجينات $\text{ZnTe} \rightarrow \text{ZnSe} \rightarrow \text{ZnS} \rightarrow \text{ZnO}$ [1]. يمكن أن يستخدم ZnO بمثابة مرآة حرارية بسبب انعكاسيته الكبيرة للأشعة تحت الحمراء القريبة [1,8]. ثم إن دخول مسحوق أكسيد الزنك، بكميات مدروسة إلى مواد مركبة أساسها البوليمتر Polyester Matrix غير المشبع، يُحسن كثيراً من خصائصها الميكانيكية، لاسيما معامل مرونة الانحناء، ومثانة الانحناء، والكسر والصلادة، وإجهاد القص [9].

تحدث عملية امتصاص الضوء عندما يكون بمقدور طاقة الضوء نقل الإلكترونات من حالة ارتباط أولى إلى حالة ارتباط أخرى. فإذا استخدم ضوء بأطوال موجية مختلفة لجعل هذا الانتقال الطاقي ممكناً فلن يُمتص هذا الضوء. وهذا يعني وجود انتقالات إلكترونية مسؤولة عن امتصاص الضوء المرئي مثلاً الذي طاقاته توافق الأطوال الموجية $(400 - 700) \text{ nm}$ ، والضوء ذو الطاقات الأدنى ($> 700 \text{ nm}$) لن يُمتص. وفي هذه الحالة تكون طاقة الحزمة الضوئية ذات الطول الموجي 1500 nm صغيرة جداً لدرجة لا تستطيع عندها أن تُسبب أي انتقال إلكتروني في المادة، ولهذا السبب فإنها لن تُمتص. و عوضاً عن ذلك، فإن الحزمة الضوئية 1500 nm تتكسر، وتنعكس، وتنتشر مما يؤدي إلى انعكاس هذه الحزمة الموافقة للأشعة تحت الحمراء القريبة Near Infrared بطريقة الانتثار Diffuse. ولا توجد طريقة محددة للتنبؤ فيما إذا كان هذا الانعكاس يحدث على مركب لاعضوي أو مركب عضوي [10].

عندما تسقط حزمة ضوئية على عينة مسحوق Powdered Sample مصنوعة من أصبغة عاكسة؛ كالمعادن النقية (مثل Al, Ag, Cu)، والتراكيب متعددة الطبقات (مثل $\text{TiO}_2/\text{Au}/\text{TiO}_2$)، ومسحوق السيلكون، ومسحوق أكسيد الزنك (ZnO) فيمكن أن تنعكس عنها، وتنفذ من خلالها، وتُمتص من قبلها: فإذا كانت العينة سميكة بصرياً كفاية، فإن الضوء النافذ يُهمل. ومن المعلوم أنه يوجد نوعان من الانعكاس؛ الانعكاس المرآتي Specular Reflection والانعكاس الانتثاري Diffuse Reflection. فالأول يكون ملحوظاً من أجل السطوح الناعمة ضوئياً ومن أجل العينات ذات الامتصاصية العالية. ويحدث الانعكاس الانتثاري عندما يتغلغل الإشعاع الوارد في المسحوق Powder وينعكس على الحدود الحبيبية لجسيماته [10,11]. ثم إن الانعكاس الانتثاري يتعلق بأبعاد تلك الجسيمات. فعندما يقل البعد الجسيمي يزداد عدد الانعكاسات عند الحدود الحبيبية. ونتيجة لذلك ينخفض عمق تغلغل الأشعة الضوئية الواردة مؤدياً إلى انخفاض في الامتصاص وارتفاع في الانعكاس. وفي هذه الحالة يمكن القول أنه يوجد انخفاض في الجزء الممتص من الضوء وزيادة في الجزء المنعكس منه [10,11].

ومن الجدير بالذكر أنه يمكن للأغلفة العاكسة للضوء بطريقة الانتثار أن تتعرض في ظروف الاستخدام لتأثير عوامل خارجية مختلفة؛ كالمعالجة الحرارية في الأوساط المختلفة، ولتأثير الأشعة المؤينة، الخ. وبنسبة ذلك تتغير معاملات امتصاص مكونات هذه الأغلفة العاكسة (الصبغة والمادة الرابطة) [12].

وبشكل عام، تُستعمل الأغلفة العاكسة للضوء بطريقة الانتثار Diffuse Reflected Coatings على نطاق واسع في التطبيقات العملية المختلفة. وقوام هذه الأغلفة مساحيق قليلة التشتت Small-scattering Powders (أبعاد حبيباتها من مرتبة الميكرومتر) تسمى الصبغة Pigments وأنواع مختلفة من المادة الرابطة Binders التي تسمى مكوّن الفيلم الرقيق Film Former. وثمة العديد من النظريات التي تصف التأثيرات المتبادلة بين الضوء وجسيمات المادة تشمل نظريتي مي Mie وكوبولكا-مانك Kubelka-Munk للانتثار. فنظرية مي Mie جيدة من أجل وصف تفاعل الضوء مع الجسيمات الكروية التي تكون معزولة ومتجانسة في حين إن نظرية كوبولكا-مانك Kubelka-Munk للانتثار تُفسّر الخصائص الضوئية للجمل المعقدة؛ كالمساحيق والجمل اللامتجانسة بشكل ممتاز [10,8].

تم مؤخراً تحقيق نجاحات محددة في تكنولوجيا إنتاج المكونات المنفصلة للأغلفة من جهة وفي تكنولوجيا إنتاج هذه الأغلفة ككل من جهة أخرى، ولكن الطرائق الرياضية لحساب وتقييم الخصائص البصرية لتلك المنتجات لم تتطور كفاية [13,10,8]، لاسيما أن مسألة التوزع الفراغي لشدة الإشعاع في الأوساط المتغايرة المُشتتة للضوء لم تُدرس حتى النهاية. فحل هذه المسألة يسمح لنا بتحسين عمق المجال النشط ضوئياً للأغلفة المخصصة للاستعمال في مجال محدد من طيف الإشعاع الضوئي والحصول على عمق التغلغل الأمثل للأشعة. يُقصد بعمق المجال النشط ضوئياً هنا المسافة التي تتناقص عندها شدة الإشعاع الضوئي حتى قيمة صغيرة معطاة تبلغ نحو 2% من الشدة الأولية حيث تبدأ هذه المسافة من سطح الغلاف المدروس.

أهمية البحث وأهدافه:

يُعدّ مسحوق أكسيد الزنك ZnO أحد الأصبغة البيضاء الأكثر انتشاراً واستعمالاً في التطبيقات العملية المختلفة وضمن مجالات طيفية مختلفة سواء في مجال الأشعة فوق البنفسجية UV، والمرئية Visible، وتحت الحمراء القريبة Near IR، ولذلك فإن هذا البحث يقدم دراسة نظرية تهدف إلى دراسة تأثير انتشارية (تبعثر) مسحوق أكسيد الزنك ZnO على عمق المجال النشط ضوئياً لأغلفة متعددة الطبقات Multilayer Coatings أساسها مسحوق ZnO ومن ثم حساب سماكات هذا المجال النشط ضوئياً لدى تغيير سماكة الصبغة الداخلة في تركيب هذه الأغلفة. فضلاً عن أن الأغلفة العاكسة للضوء تتأثر بالظروف المحيطة بعملها ولهذا السبب، تم حساب سماكة المجال النشط ضوئياً للغلاف تبعاً لتغير معامل امتصاص مكوناته.

طرائق البحث ومواده:

إنشاء خوارزمية حسابية تسمح بحساب مقادير عمق المجال النشط ضوئياً للأغلفة متعددة الطبقات باستخدام برنامج الماتلاب Matlab (كود الماتلاب في الملحق) استناداً لعلاقات تكرارية لكل من معامل نفوذ هذه الأغلفة ومعامل انعكاسها بحيث تستمر عملية الحساب هذه طالما أن معامل نفوذ الجملة T_ℓ من الطبقات ℓ لا يقل عن قيمة معطاة T_0 .

لهذا الغرض درسنا في هذا العمل نموذجاً لغللاف عاكس للضوء. قوام هذا النموذج جملة من الطبقات المتعاقبة Successive Multilayer System من الصبغة ومكوّن الغشاء الرابط (التي ندعوها باختصار جملة الصبغة/ رابط Pigment/Binder) بحيث تتصف هذه الجملة بسماكات d_ℓ وقرائن انكسار عقدية \bar{n}_ℓ تُعطى بالعلاقة الآتية:

$$\bar{n}_\ell = n_\ell - ik_\ell, \quad (1)$$

حيث n_ℓ القسم الحقيقي لقرينة انكسار الطبقة ℓ و $\kappa = a_\ell \lambda / 4\pi$ القسم التخيلي (الذي يسمى بعامل الخمود أو التوهين Extinction Coefficient)، والمقدار a_ℓ عامل امتصاص Absorption Coefficient الطبقة ℓ . يُشير الدليل السفلي ℓ إلى رقم الطبقة الأساسية الداخلة في تركيب الجملة المدروسة ويأخذ القيم $\ell = 1, 2, 3, \dots, \infty$ في الحالة الراهنة، تعود الأدلة الزوجية للصبغة Pigment والفردية للغشاء الرابط Binder.

وبما أن جملة كهذه تُحاكي منتجات واقعية، فإن سماكات الصبغة والغشاء الرابط تُعدُّ بارامترات ترتبط بخصائص توزع جسيمات المسحوق تبعاً لأبعادها ولنسبة تذرية الغلاف Coating Sputtering أي لنسبة الصبغة إلى الغشاء الرابط. وبحكم السلوك العشوائي لانتشار الضوء في وسط حقيقي ضعيف التشتت يمكننا إهمال مفاعيل التداخل في النموذج. فإذا أخذنا ذلك بالاعتبار ودرسنا عملية عبور الأشعة الضوئية في الجملة أخذين بالحسبان كل الانعكاسات الداخلية المتكررة الممكنة نستطيع تطبيق العلاقات التكرارية الآتية بهدف حساب معاملي الانعكاس R_ℓ والنفوذ T_ℓ لجملة مؤلفة من ℓ طبقة أساسية اختيارية [16,15,14]:

$$R_{\ell+1} = R_\ell + \frac{T_\ell^2 r_{\ell+2} \exp(-2a_{\ell+1}d_{\ell+1})}{1 - Q_\ell r_{\ell+2} \exp(-2a_{\ell+1}d_{\ell+1})}; \quad (2)$$

$$T_{\ell+1} = \frac{T_\ell (1 - r_{\ell+2}) \exp(-a_{\ell+1}d_{\ell+1})}{1 - Q_\ell r_{\ell+2} \exp(-2a_{\ell+1}d_{\ell+1})}; \quad (3)$$

$$Q_{\ell+1} = r_{\ell+2} + \frac{Q_\ell (1 - r_{\ell+2})^2 \exp(-2a_{\ell+1}d_{\ell+1})}{1 - Q_\ell r_{\ell+2} \exp(-2a_{\ell+1}d_{\ell+1})}, \quad (4)$$

حيث $R_{\ell+1}$ و $T_{\ell+1}$ معاملا الانعكاس والنفوذ لجملة مؤلفة من $\ell+1$ طبقة أساسية اختيارية، و $a_{\ell+1}$ و $d_{\ell+1}$ عامل امتصاص الطبقة $\ell+1$ وسماكتها على الترتيب، و $r_{\ell+2}$ معامل الانعكاس عن السطح الفاصل بين الطبقتين $\ell+2$ و $\ell+1$ في حالة الورود الناظمي، ويُعطى بالعلاقة:

$$r_{\ell+2} = \left| \frac{\bar{n}_{\ell+2} - \bar{n}_{\ell+1}}{\bar{n}_{\ell+2} + \bar{n}_{\ell+1}} \right|^2, \quad (5)$$

و Q_ℓ و $Q_{\ell+1}$ وسيطان يتعلقان بكل من عامل امتصاص الطبقة $\ell+1$ وسماكتها ومعامل الانعكاس $r_{\ell+2}$ ويرتبطان فيما بينهما بالعلاقة التكرارية (4).

تُحسب الحدود الأولية للمعاملات R_1 ، و T_1 ، و Q_1 استناداً إلى مواصفات الطبقة الأولى بالعلاقات الآتية [17-14]:

$$R_1 = r_1 + \frac{(1 - r_1)^2 r_2 \exp(-2a_1 d_1)}{1 - r_1 r_2 \exp(-2a_1 d_1)}; \quad (6)$$

$$T_1 = \frac{(1 - r_1)(1 - r_2) \exp(-a_1 d_1)}{1 - r_1 r_2 \exp(-2a_1 d_1)}; \quad (7)$$

$$Q_1 = r_2 + \frac{(1-r_2)r_1 \exp(-2a_1 d_1)}{1-r_1 r_2 \exp(-2a_1 d_1)}, \quad (8)$$

حيث r_1 معامل الانعكاس على السطح الفاصل بين الطبقة الأولى والطبقة التي قبلها (الهواء)، و r_2 معامل الانعكاس على السطح الفاصل بين الطبقتين الثانية والأولى، و a_1 و d_1 عامل امتصاص الطبقة الأولى وسماكتها. ثم إن $r_1 = \left| \frac{\bar{n}_1 - 1}{\bar{n}_1 + 1} \right|^2 = Q_0$ على اعتبار أن الطبقة التي تسبق الطبقة الأولى هواء. تم استناداً إلى العلاقات المذكورة أعلاه حساب أعماق المجالات النشطة ضوئياً للغلاف متعدد الطبقات المتعاقبة الذي قوامه مسحوق أكسيد الزنك ذو قرينة الانكسار $n = 2$ والغشاء الرابط ذو الثوابت الضوئية $n_B = 1.5$ و $a_B = 1 \text{ cm}^{-1}$ النموذجية من أجل المجال المرئي للأطوال الموجية [19,18] حيث تم إنشاء خوارزمية الحساب باستخدام برنامج Matlab بطريقة تسمح بإجراء حساب المقادير المطلوبة في البرنامج المطبق وفق العلاقات التكرارية المذكورة أعلاه وتستمر بذلك طالما أن نفوذية الجملة T_ℓ ذات الطبقات ℓ لا تقل عن قيمة معطاة $T_0 = 0.02$. وأُعتد المقدار $h(T)|_{T=T_0} = \sum_{\ell} d_\ell$ بمثابة عمق لتغلغل الإشعاع الضوئي في الأغلفة العاكسة متعددة الطبقات ذات السماكات d_ℓ .

النتائج والمناقشة:

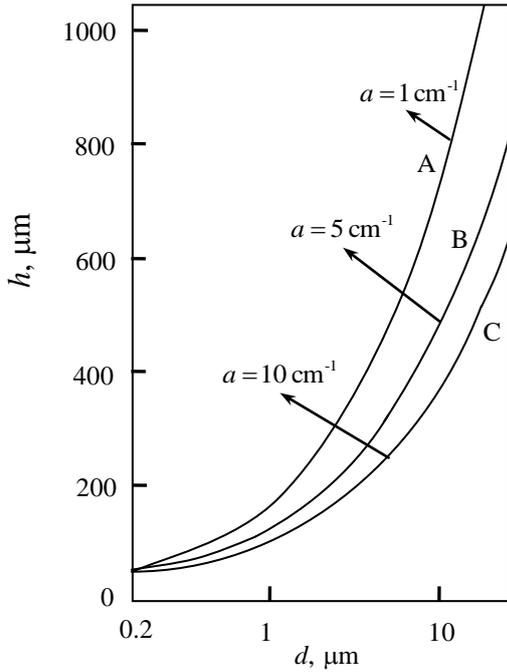
توضح المنحنيات A، و B، و C المبيّنة في الشكلين (1) و (2) نتائج حساب عمق المجال النشط ضوئياً كتابع لسماكة طبقة الصبغة d ضمن المجال من $0.2 \mu\text{m}$ حتى $10 \mu\text{m}$ من أجل الغلاف ومسحوق أكسيد الزنك ZnO المدروسين في هذا البحث، وذلك من أجل سماكة غشاء رابط تساوي $0.1 \mu\text{m}$ ومستوى نفوذية معطى يساوي $T_0 = 0.02$.

تتصف الفواصل الطبقيّة في حالة المسحوق بالبارامترات $n_B = 1$ و $a_B = 0$. فضلاً عن أن معامل امتصاص الصبغة a في كلتا الحالتين (حالة الغلاف ككل وحالة المسحوق) يأخذ القيم ذاتها، وهي: 1 cm^{-1} و 5 cm^{-1} ، و 10 cm^{-1} من أجل المنحنيات الثلاثة A، B، C في كلا الشكلين (1) و (2) على الترتيب. وتجدر الإشارة هنا إلى أن هذه القيم لمعامل الامتصاص a تغطي مجال تغيراته الممكنة في المجال المرئي للطيف الكهرطيسي. يدل تحليل هذه المنحنيات الحسابية التي تربط بين عمق المجال النشط ضوئياً والسماكة على أنه بازياد سماكة طبقات الصبغة يزداد عمق تغلغل الإشعاع في العينة بسرعة. فمن أجل مسحوق أكسيد الزنك ZnO نجد أن تغير أبعاد حبيباته من $0.2 \mu\text{m}$ حتى $10 \mu\text{m}$ يؤدي إلى زيادة سماكة المجال النشط ضوئياً من 10 إلى 20 مرة تقريباً. فعندما $d = 10 \mu\text{m}$ يبلغ عمق تغلغل الإشعاع الضوئي حوالي $1000 \mu\text{m}$ تقريباً، كما يوضح المنحني C في الشكل (1). وفي الحالة الحدية، عندما $d \rightarrow \infty$ ، يتضح أنه يمكن حساب سماكة المجال النشط ضوئياً من العلاقة الآتية الموافقة لعينة بلورة وحيدة Mono-crystalline Sample [17]:

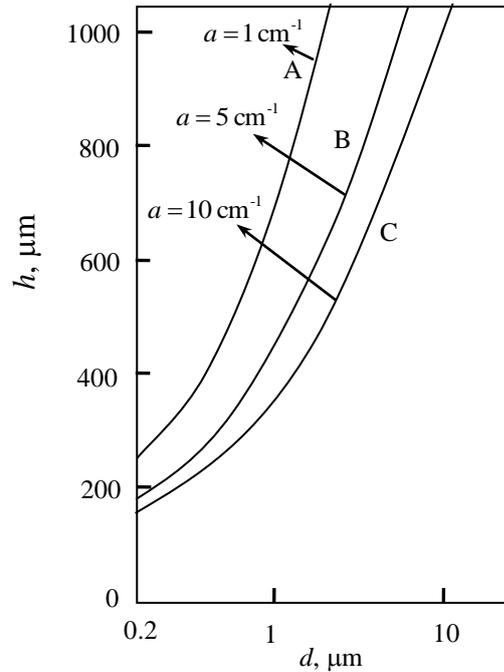
$$h = \frac{1}{a} [\ln(1-R)^2 - \ln T_0]. \quad (11)$$

وفي هذه الحالة يُعطي تقييم العمق الحدي للمجال النشط ضوئياً من أجل أكسيد الزنك والبارامترات المعطاة القيم: 5 mm و 50 mm تقريباً.

وعلى العكس من ذلك، عندما تكون سماكة طبقات الصبغة $0.2 \mu\text{m}$ ومستوى العبورية المعطى $T_0 = 0.02$ يمكن اعتبار عينات المسحوق بسماكة تزيد عن $50 \mu\text{m}$ وعينات الأغلفة بسماكة تفوق الـ $250 \mu\text{m}$ عينات لانهائية السماكة من أجل الضوء المرئي أي عينات سميكة جداً.



الشكل (2): نتائج حساب تغير عمق المجال النشط ضوئياً مع d من أجل مسحوق أكسيد الزنك.

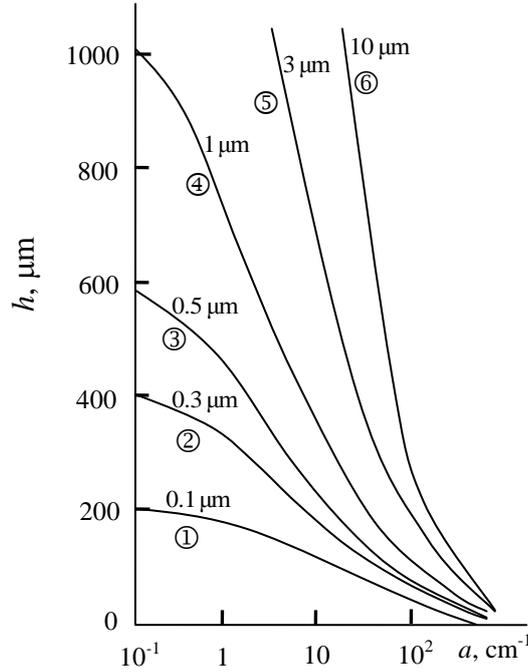


الشكل (1): نتائج حساب تغير عمق المجال النشط ضوئياً مع d من أجل غلاف مكون من طبقات متعاقبة من مسحوق أكسيد الزنك والغشاء الرابط.

إن اختلاف قيم معاملات الانعكاس عند السطوح الفاصلة للطبقات يُفسَّر تفوق عمق المجال النشط ضوئياً في الغلاف على عمقه في المسحوق الداخلي في تكوينه أو تحضيره. فقيمة معامل الانعكاس عن السطح الفاصل للغلاف ($r = 0.02$) الأصغر من قيمته عند السطح الفاصل للمسحوق ($r = 0.11$) يؤمن مشاركة كمية كبيرة من طبقات الصبغة والمادة الرابطة في عمليات إعادة انعكاس الضوء في الغلاف.

يمكن أن تتعرض الأغلفة العاكسة للضوء بطريقة الانتثار في ظروف الاستعمال لتأثير عوامل خارجية مختلفة؛ كالمعالجة الحرارية في الأوساط المختلفة ولتأثير الأشعة المؤينة [12]. وكقاعدة عامة، تزداد بنتيجة ذلك معاملات الامتصاص لكل من الصبغة والمادة الرابطة وهذا ما يؤدي إلى انخفاض عمق تغلغل الضوء في العينة. ولهذا السبب، كان لا بد من حساب سماكة المجال النشط ضوئياً للغلاف تبعاً لتغير معامل امتصاص مكوناته. وتحليل هكذا علاقات تابعة ضروري لدى تقييم عمق المجال النشط ضوئياً أيضاً من أجل أطوال موجية مختلفة للإشعاع الواردة على الغلاف.

يوضح الشكل (3) المنحنيات البيانية (من ① إلى ⑥) التي تعبر عن تغير عمق المجال النشط ضوئياً بتغير معامل امتصاص الصبغة من أجل غلاف يتصف بالبارامترات المذكورة أعلاه والقيم الآتية لسماكة طبقات الصبغة: $0.1 \mu\text{m}$ ، $0.3 \mu\text{m}$ ، $0.5 \mu\text{m}$ ، $1 \mu\text{m}$ ، $3 \mu\text{m}$ ، $10 \mu\text{m}$ على الترتيب. يجدر بالذكر أنه يمكن تحويل هذه المنحنيات المحسوبة إلى علاقات تابعة لطاقة موجة الإشعاع الوارد أو لطول موجة الإشعاع على أساس الطيف المعلوم لامتناص أكسيد الزنك [20-23]. فضلاً عن أن مجال قيم معامل الامتصاص المبين في الشكل (3) يوافق المجال الطيفي $(0.38-2.5) \mu\text{m}$ من أجل أكسيد الزنك.



الشكل (3): تبعية عمق المجال النشط ضوئياً في الغلاف صبغة/غشاء رابط لمعامل امتصاص الصبغة من أجل سماكات d مختلفة للصبغة $(0.1-10) \mu\text{m}$

إن تحليل هذه المنحنيات يدل على أن تأثير درجة تشتت المسحوق على عمق تغلغل الإشعاع في الغلاف يتعلق بالمجال الطيفي بشكل حقيقي.

ففي مجال الطيف القريب من حد الامتصاص الذاتي (عتبة الامتصاص) $a = (100-1000) \text{cm}^{-1}$ تختلف أعماق المجال النشط ضوئياً لأكثر من خمس مرات من أجل سماكات طبقات الصبغة الواقعة ضمن المجال $(0.1-10) \mu\text{m}$.

أما من أجل المجال المرئي والأشعة تحت الحمراء IR القريبة $a = (0.1-5) \text{cm}^{-1}$ فتختلف لأكثر من عشر مرات: فمن أجل $a = 0.1 \text{cm}^{-1}$ يبلغ عمق تغلغل الإشعاع $200 \mu\text{m}$ و $6400 \mu\text{m}$ من أجل سماكات الطبقات $0.1 \mu\text{m}$ و $10 \mu\text{m}$ على الترتيب.

وبناءً على ما تقدم لا بد من أخذ المعطيات الحسابية التي حصلنا عليها بالحسبان وذلك عند تحضير أنواع محددة من الأغلفة العاكسة للضوء وحتمية استبعاد تأثير الركيزة. فحل هذه المسألة يسمح لنا بتحسين عمق المجال النشط ضوئياً للأغلفة المخصصة للاستعمال في مجال محدد من طيف الإشعاع الضوئي والحصول على عمق التغلغل الأمثل للأشعة.

الاستنتاجات والتوصيات:

1. إن تحليل النتائج المحسوبة باستخدام خوارزمية الحساب بمساعدة برنامج الـ Matlab استناداً إلى المعادلات التكرارية لمعاملي النفوذ والانعكاس لغلّاف مؤلف من صبغة ZnO وغشاء رابط دلّ على ازدياد عمق المجال النشط ضوئياً من 10 إلى 20 مرة تقريباً لدى تغيير سماكة طبقة الصبغة في المجال من $0.2 \mu\text{m}$ حتى $10 \mu\text{m}$ وهذا ينسجم مع النتائج المقدمة في [11,10]. فضلاً عن أن وجود المادة الرابطة التي تتصف بالثوابت الضوئية $n_B = 1.5$ (قرينة انكسار الغشاء الرابط) و $a_B = 1 \text{ cm}^{-1}$ (معامل امتصاص الغشاء الرابط) النموذجية من أجل المجال المرئي للأطوال الموجية يؤدي إلى زيادة واضحة في سماكة المجال النشط ضوئياً.
2. يمكن اعتبار عينات مسحوق أكسيد الزنك بسماكة تزيد عن $50 \mu\text{m}$ وعينات الأغلفة بسماكة تزيد عن $250 \mu\text{m}$ عينات لانتهائية السماكة من أجل الضوء المرئي وذلك من أجل مستوى العبورية 0.02.
3. إن عمق المجال النشط ضوئياً في الغلاف أكبر منه في المسحوق الداخل في تركيب الغلاف لأن معامل الانعكاس عن السطوح الفاصلة للغلاف يمتلك قيمة (0.02) أصغر من قيمة معامل الانعكاس عند السطح الفاصل للمسحوق (0.11) ما يعني مشاركة كمية كبيرة من طبقات الصبغة والمادة الرابطة في عمليات إعادة انعكاس الضوء في الغلاف. وهذه النتيجة تنسجم مع النتائج المقدمة في [11,10,8].
4. إن تحليل النتائج المحسوبة في الشكل (3) يدل على أن تأثير انتشارية أو تشتتية المسحوق على عمق تغلغل الإشعاع الكهرطيسي في الغلاف يتعلق بالمجال الطيفي بشكل واضح وصريح، لاسيما في المجال المرئي وتحت الأحمر القريب $a = (0.1-5) \text{ cm}^{-1}$ حيث يزداد عمق تغلغل هذه الأشعة بمقدار 32 مرة تقريباً لدى تغيير سماكات طبقات المسحوق من $0.1 \mu\text{m}$ إلى $10 \mu\text{m}$.
5. وأخيراً، يجب أخذ المعطيات المحسوبة المذكورة أعلاه بالحسبان لدى تحضير أنواع محددة من الأغلفة العاكسة للضوء ولدى استبعاد تأثير الركيزة التي تنرسب عليها هذه الأغلفة.

الملحق

G:\ \physics.m

1 of 2

```

x=1000;
r = zeros(x,1);
R = zeros(x,1);
P = zeros(x,1);
alpha = zeros(x,1);
T = zeros(x,1);
Q = zeros(x,1);
n1= zeros(x,1);
n = zeros(x,1);
a = zeros(x,1);
k = zeros(x,1);
d = zeros(x,1);
lambda=rand(1)-(0.6*10^(-6)-0.38*10^(-6))+0.38*10^(-6);
n_pigment=2;
n_binder=1.5;
%Binder is odd
binder_a=100; %a is constant for binder;
pigment_a= zeros(4,1);
pigment_a(1)=0;
pigment_a(2)=100;
pigment_a(3)=500;
pigment_a(4)=1000;

binder_d=0.1*10^(-6);

for l=1:x
    if(mod(l,2)==0)
        n(l)=n_pigment;
    else
        n(l)=n_binder;
    end;
end;

for l=1:x
    if(mod(l,2)==0)
        d(l)=rand(1)*(10*10^(-6)-0.2*10^(-6))+0.2*10^(-6);
    else
        d(l)=binder_d;
    end;
end;

for i=1:4
    for l=1:x
        if(mod(l,2)==0)
            a(l)=pigment_a(i);
        else
            a(l)=binder_a;
        end;
    end;

    for l=1:x
        k(l)=a(l)*lambda/4*pi;
        ni(l)=complex(n(l),-k(l));
    end;
end;

```

```

G:\physics.m
2 of 2

end;

%nl(0)--1 its air
r(1)=abs((nl(1)-1)/(nl(1)+1))^2;
for i=2:x-1
    r(i)=abs((nl(i)-nl(i-1))/(nl(i)+nl(i-1)))^2;
end;

R(1)=r(1)+((1-r(1))^2)*((alpha(1))^2)*r(2)/P(1);
T(1)=(1-r(1))*(1-r(2))*alpha(1)/P(1);
P(1)=1-(r(1)*r(2)*alpha(1)^2);
Q(1)=r(2)*((1-r(2))*alpha(1)^2*r(1))/P(1);

for i=1:(x-2)
    counter=i;
    alpha(i)=exp(-(a(i))*(d(i))));
    R(i+1)=R(i)+(T(i)^2*alpha(i+1)^2*r(i+2))/P(i);
    T(i+1)=(T(i)*alpha(i+1)*(1-r(i+2)))/P(i);
    P(i+1)=1-Q(i)*alpha(i+1)^2*r(i+2);
    Q(i+1)=r(i+2)*(1-r(i+2))^2*Q(i)*alpha(i+1)^2/P(i);
    if(T(i+1)<=0.02)
        break;
    end;
end;
counter
h=0;
for i=1:counter
    h=h+d(i);
end;
h
end;

```

المراجع

- 1-RODNYI P. and KHODYUK I., *Optical and luminescence properties of zinc oxide*, Optics and Spectroscopy, Vol. 111, № 5, 2011, 667-785.
2. TAKAHASHI, K.; YOSHIKAWA, A.; SANDHU, A., *Wide band-gap semiconductors: fundamental properties and modern photonic and electronic devices*, Springer, 2007, 357.
3. GREENWOOD, N.; EARNSHAW, A., *Chemistry of the Elements*, Butterworth-Heinemann, ISBN, 1997, 0-08-037941-9.

- 4- BENRAMACHE S. ; BENHAOUA, B. ; BELAHASSEN, O., *The crystalline structure, conductivity and optical properties of Co-doped ZnO thin films*, Optic, Vol. 125, 2014, 3864-3867.
- 5- BENRAMACHE S. ; RAHAL, B. ; BENHAOUA, B., *Synthesis and efficient field emission characteristics of patterned ZnO nanowires*, Journal of Semiconductors, Vol. 33, 2012, 023001-5.
- 6- ZHANG Y.; WU, C.; ZHENG, Y. et all, *The crystalline structure, conductivity and optical properties of Co-doped ZnO thin films*, Optic, Vol. 125, 2014, 3864-3867.
- 7- BENRAMACHE S.; BENHAOUA, B., *Influence of annealing temperature on structural and optical properties of ZnO: in thin films prepared by ultrasonic spray technique*, Super-lattice and Microstructure, Vol. 52, 2012, 1062-1070.
- 8- WANG, G.H. and ZHANG Y., *Optimization and design of pigments for heat-insulating coatings*, Chin Phys. B, Vol. 19, № 12, 2010, 1278031-6.
- 9- هناء عريير سميح، تأثير التقوية بمسحوق اوكسيد الزنك على الخواص الميكانيكية لمادة متراكبة ذات أساس من البولي استر غير مشبع، مجلة الهندسة والتكنولوجيا، المجلد 29، العدد 10، 2011، 474-480.
- 10- FANG, V.; KENEDDY, J.; et all, *A review of infrared reflectance properties of metal oxide nanostructures*, GNS Science report, 2013, 23.
- 11- Gee, J.M.; GORDON, R.; and LIANG, H., *Optimization of textured-dielectric coatings for crystalline-silicon solar cells*, 25th IEEE PVSC, 1991, 733-736.
- 12- TONON, C.; DUVIGNACQ, C., et all, *Degradation of the optical properties of ZnO-based thermal control coatings in simulated space environment*, J. Phys. D: Appl. Phys., 34, 2001, 124-130.
- 13- PINNELL, S.R.; FAIRHURST, D.; GILLIES, R.; MITCHNICK, M.A.; KOLLIAS, N., *Microfine zinc oxide is a superior sunscreen ingredient to microfine titanium dioxide*, Dermatol Surg. 2000, 26(4):309-14.
- 14- ORFANIDIS, S.J., *Electromagnetic waves and Antennas*, Rutgers University, Math-works Inc., 2014, 1188 p.
- 15- ЕРШОВ, А.В.; МАШИН, А.И., *Многослойные оптические покрытия*, Нижний Новгород, 2006, 99.
- 16- Иванов А.П., *Оптика рассеивающих сред*, Издательства "наука и техника", Минск, 1969, 592.
- 17- ЗЕЕГЕР, К. ., *Физка полупроводников*, Мир, Москва, 1977, 615.
- 18- ГРУЕВИЧ, М.М. ; ИЦКО, Э.Ф. ; СЕРЕДЕНКО, М. М. , *Оптические свойства лакокрасочных покрытий*, Л. : Химия, 1994, 120 с.
- 19 КАЙДОВ, О.Л.; КОАТОВ, Д.А.; ЗАВАДСКИЙ, С. М. , *Исследование процесса нанесения тонких пленок оксида цинка методом распыления в вакууме, 7-я международная конференция "Взаимодействие излучений с твердым телом" Минск, Беларусь», 2007, 312-314.*
- 20- QASRAWI, A., *Refractive index, band gap and oscillator parameters of amorphous GaSe thin films*, Cryst Res Technol 40, 2005, 610.
- 21- КАТРУНОВ, К. Д. ; СОФРОНОВ, Н. ; СТАРЖИНСКИЙ, *Новая Технология*, №2 (28). 2010, 3-7.
- 22- ПЛЕХАНОВ, В. Г., *Успехи физических наук*, Т. 167. № 6, 1997, 577-604.
- 23- ALI, M.M.; MESHARI, S.M., *Structural and optical characterization of ZnO thin films by sol-gel technique*, J. of Basrah Researches ((science)), Vol. 40, № 1 (A), 2014, 39-48.