

نصميم طلاء مضاد للانعكاس لنمط استقطاب محدد بالاعتماد على مفهوم السماحية البصرية المعدلة

صفاء فليح حسن

الجامعة المستنصرية / كلية العلوم / قسم الفيزياء

الخلاصة

يتضمن البحث دراسة تصميم طلاء مضاد لانعكاس الضوء بزوايا سقوط مختلفة ونمط استقطاب محدد بالاعتماد على مبدأ السماحية البصرية المعدلة. أوضحت النتائج إمكانية تقليل أو اختزال الانعكاسية لطلاء مضاد للانعكاس ذو طبقة مفردة أو طبقتين أو ثلاث طبقات لنمط استقطاب محدد من خلال تحديد معاملات انكسار المادة الأساس والمواد المرسبة بالاعتماد على مفهوم السماحية البصرية المعدلة فضلاً عن استخدام الطرائق التحليلية (مواصفة السمك البصري) لتحقيق شرط الانعكاسية الصفرية.

المقدمة

يعتبر الطلاء المضاد للانعكاس من أهم أنواع المرشحات البصرية (Optical Filter) حيث يمكن التحكم بكمية الضوء النافذ (Transmitted Light) وذلك بتغيير سماك الطبقات أو معاملات انكسارها أو ترتيبها أو بتغييرها جميعاً [1,2].

يعمل الطلاء المضاد للانعكاس على تقليل (أو الغاء) الخسائر نتيجة لانعكاس الأشعة الضوئية الساقطة على المنظومة البصرية باعتماد ظاهرة تداخل الموجات الضوئية (Interference) عن سطوح الأغشية الرقيقة المرسبة [2]. حيث يمكن تصنيف أنواع الطلاء المضاد للانعكاس حسب الأداء البصري إلى طلاء نوع W (W-type coating)، طلاء نوع U (U-type coating)، π (U-type coating)، π (U-type coating)، بالإضافة إلى الطلاء نوع V (V-type coating) (موضوع الدراسة) الذي تكون قيمة الانعكاسية مساوية للصفر عند طول موجة محدد وهو طول موجة التصميم λ_0 (Design Wavelegth) وتزداد الانعكاسية بشكل مفاجئ عند الأطوال الموجية الأخرى [3].

تصميم طلاء مضاد للانعكاس لنمط استقطاب محدد بالاعتماد على مفهوم السماحية البصرية المعدلة....
صفاء فليج حسن

ان موضوع الطلاء المضاد للانعكاس وتصاميمه النظرية والعملية من المواضيع المهمة في حقل بصريات الاغشية الرقيقة وهو مهم لجميع الاجزاء البصرية التي تعمل في المنطقتين المرئية (Visible Region) وتحت الحمراء (Infrared Region) من الطيف الكهرومغناطيسي لغرض تقليل الانعكاسية عند منطقة محددة او منطقة عريضة من الطيف ونتيجة لذلك اصبحت تطبيقات الطلاء المضاد للانعكاس ذات اهمية كبيرة في مجالات علمية واسعة منها كاميرات المسح الجوي (Aerial Survey Cameras) والمجسات (Star Sensors) المستخدمة في تحسس وضعية النجوم والاقمار الصناعية وفي منظومة التصوير الحراري (Thermal Imaging System) [4] والخلايا الشمسية (Solar Cells) [5] بالاضافة الى الاجهزة البصرية المستخدمة في جميع انواع الليزرات [6]. لذا ظهرت طرائق تصاميم (Design Methods) كثيرة لحالتي السقوط العمودي والمائل للضوء منها طرائق تحليلية (Analytical Methods) [1] واخرى عددية (Numerical Methods) [7,8] الهدف منها تقليل او الغاء الانعكاسية لنمطي الانعكاسية ويتم ذلك بطلاء مادة اساس (Substrate) بمواد يتم تحديدها بحيث تحقق شرط الحصول على انعكاسية صفرية. شمل البحث دراسة تصميم طلاء مضاد للانعكاس نوع V- لحالة السقوط المائل للضوء باستخدام اسلوب جديد بالاعتماد على مبدا السماحية البصرية المعدلة بالاضافة الى استخدام الطريقة التحليلية فقط وهي طريقة موائمة السمك البصري للطبقات, ان السماحية البصرية للوسط البصري (أغشية Coating أو مواد أساس Substrate) إحدى الصفات البصرية المهمة للوسط البصري فعند سقوط الموجه الكهرومغناطيسية على الحد الفاصل بين وسطين مختلفين في كثافتهما البصرية فإن حسابات الانعكاسية Reflection والنفاذية Transmission وفق صيغ معادلات فرنيل Fresnel's Equations يعتمد على قيم السماحية البصرية للوسط الأول والثاني وكذلك على قيم زوايا السقوط المختلفة [9]. فعند السقوط العمودي للموجه تبقى السماحية البصرية لجميع الأوساط بدون تغيير والتي تساوي الجزء الحقيقي من قيمة معامل الانكسار للوسط وعندما تزداد زوايا السقوط ولقيم الزوايا تقريباً ($20^\circ - 90^\circ$) وبسبب تأثير ظاهرة الاستقطاب عند هذه الزوايا تنفصل السماحية البصرية للوسط الواحد إلى جزئين هما السماحية البصرية للاستقطاب الموازي (η_p) والسماحية البصرية للاستقطاب العمودي (η_s) [10,11]، إن حسابات الانعكاسية والنفاذية لنمطي الاستقطاب أعلاه تكون منفصلة تماماً هذا

تصميم طلاء مضاد للانعكاس لنمط استقطاب محدد بالاعتماد على مفهوم السماحية البصرية المعدلة....

صفاء فليح حسن

الفصل يُعد من المشاكل الرئيسية لتصاميم المرشحات البصرية (optical filters) والعاملة في العديد من الأجهزة البصرية ذات الأغراض المتعددة كمرآيا أنظمة الليزر والأغطية المضادة للانعكاس [12].

الاساس النظري

الشروط الحدودية لقوانين النظرية الكهرومغناطيسية الموجبة (معادلات ماكسويل) تتطلب أن تكون المجالات الكهربائية والمغناطيسية المماسية مستمرة عبر الحد الفاصل بين الوسطين البصريين. يرتبط المجالين الكهربائي والمغناطيسي بكميات تخص الوسط البصري والسماحية البصرية للوسط إحدى هذه الكميات، إن هذه التمثيل لصيغ السماحية ولحالاتي السقوط العمودي والموازي يمكن استعماله في حسابات الانعكاسية والنفاذية للأمواج الساقطة [13,14]. يرتبط المجالين الكهربائي والمغناطيسي مع بعضها من خلال العلاقة

$$\eta = \frac{H}{E} \dots\dots\dots (1)$$

حيث أن:

H متجه المجال المغناطيسي.

E متجه المجال الكهربائي.

η رمز السماحية للبصرية للوسط ولحالاتي السقوط للموجه الكهرومغناطيسية.

حيث يمكن التعبير عن انعكاسية الطلاء المضاد للانعكاس المكون من طبقة مفردة مكونة من مادة عازلة ولحالة السقوط المائل للضوء لنمطي الاستقطاب S- و P- على التوالي بإدخال مصطلح السماحية البصرية المعدلة η (Modified Optical Admittance) أو ما يسمى معامل الانكسار الفعال (Effective Refractive Index) لكل من الأرضية الاساس η_s , وسط السقوط η_o والغشاء η_1 بالشكل:

$$\begin{pmatrix} B \\ C \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \delta_1 & (i \sin \delta_1) / \eta_1 \\ i \eta_1 \sin \delta_1 & \cos \delta_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ \eta_{Sub} \end{pmatrix} \dots\dots (2)$$

$$\begin{pmatrix} B \\ C \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \delta_1 + i(n_s / \eta_1) \sin \delta_1 \\ n_s \cos \delta_1 + i \eta_1 \sin \delta_1 \end{bmatrix} \dots\dots (3)$$

حيث ان

$$\delta = 2\pi \eta_1 d_1 \cos \theta_1 / \lambda$$

تصميم طلاء مضاد للانعكاس لنمط استقطاب محدد بالاعتماد على مفهوم السماحية البصرية المعدلة....

صفاء فليج حسن

يمثل سمك الطور الفعال لحالة السقوط المائل كما ان $\eta_1 d_1 = \lambda_0 / 4$ تمثل السمك البصري الفعال المناظر له.

وباجراء التبسيطات الرياضية نحصل على انعكاسية الطبقة المفردة لحالة السقوط المائل ولنمطي الاستقطاب

$$R = \frac{(\eta_o - \eta_s)^2 \cos^2 \delta_1 + [\eta_o \eta_s / \eta_1 - \eta_1]^2 \sin^2 \delta_1}{(\eta_o + \eta_s)^2 \cos^2 \delta_1 + [\eta_o \eta_s / \eta_1 + \eta_1]^2 \sin^2 \delta_1} \dots (4)$$

وانعكاسية المادة الاساس غير المطلية

$$R = \left[\frac{\eta_o - \eta_s}{\eta_o + \eta_s} \right]^2 \dots (5)$$

عندما يكون السمك البصري مضاعفات زوجية من $(\lambda_0/2)$ فان الطبقة تتصرف تصرف الطبقة الغائبة وعندما يكون السمك البصري مضاعفات فردية من $(\lambda_0/4)$ تكون الانعكاسية اعظم ما يمكن عندما $\eta_1 > \eta_s$ واقل ما يمكن عندما $\eta_1 < \eta_s$ وحسب العلاقة :

$$R = \left[\frac{\eta_o \eta_s - \eta_1^2}{\eta_o \eta_s + \eta_1^2} \right]^2 \dots (6)$$

عندما $R > R_{\text{مطلية}}$ بدون طلاء

عندما $\eta_o \leq \eta_1 \leq \eta_s$

عندما

$$\eta = \sqrt{\eta_o \eta_s}$$

$R_{\text{مطلية}} = 0$

ان الشرط اللازم للحصول على انعكاسية صفرية عند طول موجة التصميم هو اختيار معاملات الانكسار للمواد المرسبة لحالتي الاستقطاب S-,P- بالاعتماد على مفهوم السماحية البصرية او معامل الانكسار الفعال لحالتي الاستقطاب S-,P-.

$$\eta_S = n_i \cos \theta_i \dots (7)$$

$$\eta_P = n_i / \cos \theta_i \dots (8)$$

حيث ان: $(i = 0, 1, 2, 3, \dots \text{Sub})$ معامل الانكسار لوسط السقوط، الطبقة الأولى والثانية، ... والمادة الأساس على التوالي.

تصميم طلاء مضاد للانعكاس لنمط استقطاب محدد بالاعتماد على مفهوم السماحية البصرية المعدلة....
صفاء فليج حسن

حيث يرتبط معامل الانكسار الفعال بمعامل انكسار المادة المرسبة n وزاوية انكسار الاشعة في المادة θ . بتعويض η_s, η_1, η_0 في المعادلة $\eta = \sqrt{\eta_o \eta_s}$ والاستفادة من قانون سنيل نجد

لحالة استقطاب P-

$$n_1^2 = (2A)^{-1} \left[1 \pm \sqrt{1 - 4An_o^2 \sin^2 \theta_o} \right] \dots (9)$$

حيث ان

$$A = (n_o n_s)^{-1} \cos \theta_o \sqrt{1 - n_o^2 n_s^{-2} \sin^2 \theta_o} \dots (10)$$

لحالة استقطاب S

$$n_1^2 = n_o^2 \sin^2 \theta_o + n_o^2 n_s^2 A \dots (11)$$

يمثل n_o معامل انكسار وسط سقوط الضوء

n_1 معامل انكسار المادة المرسبة

n_s معامل انكسار المادة الاساس

θ_o زاوية السقوط

وبذلك يمكن تحديد معاملات انكسار الطبقة المرسبة على مواد اساس مختلفة ولزوايا سقوط محددة للحصول على ادنى قيمة للانعكاسية .

لغرض تصميم طلاء مضاد للانعكاس عند نمط استقطاب محدد نجري تصحيح على السماحية البصرية لنمطي الاستقطاب بالاعتماد على الحقيقة المثبتة من قبل الباحث Thelen [15] حيث تم اختيار الثابت للتصميم $\cos \theta_o$ لتصبح السماحية البصرية المعدلة

$$\eta_s = n_i \cos \theta_i / \cos \theta_o \dots (12)$$

$$\eta_p = n_i \cos \theta_o / \cos \theta_i \dots (13)$$

النتائج والمناقشة

1. السماحية البصرية دالة لزوايا السقوط

لغرض تصميم طلاء مضاد للانعكاس لنمط استقطاب محدد للضوء يتطلب دراسة تغير الانعكاسية نتيجة تغير زوايا السقوط الذي يعتمد كلياً على تغير السماحية البصرية (معاملات الانكسار الفعال) مع زاوية السقوط، بمعنى يجب تحديد السماحية البصرية المعدلة لكل من وسط السقوط η_o ، المادة الاساس η_{sub} والطبقات المرسبة η_i ، باعتماد المعادلتين (12)، (13).

تصميم طلاء مضاد للانعكاس لنمط استقطاب محدد بالاعتماد على مفهوم السماحية البصرية المعدلة....
صفاء فليح حسن

يوضح الشكل (1) تغير قيم السماحية البصرية لنمطي الاستقطاب الموازي η_p والعمودي η_s دالة لزوايا السقوط ($0^\circ - 90^\circ$)، وحالة الانعكاس الخارجي عندما يكون وسط السقوط الهواء لمواد ذات معاملات انكسار مختلفة. يظهر من الشكل كلما ازداد معامل الانكسار للمواد تضاءلت ظاهرة الفصل بين قيم η_p و η_s (Polarization splitting) وهذا يجعل تحسس معاملات الانكسار العالية، لاي تغير في زوايا السقوط اقل من معاملات الانكسار الواطئة. حيث نلاحظ η_p و η_s تعتمد كلياً على كل من n ، θ_0 .

2. السماحية البصرية دالة لمعاملات الانكسار الحقيقي.

باعتداد المعادلتين (12) و(13) ندرس تغير السماحية البصرية (η) دالة للتغير في معاملات الانكسار الحقيقي للمواد ذات معاملات انكسار مختلفة ولنمطي الاستقطاب S- و P- وحالة الانعكاس الخارجي والشكل (2) يوضح هذا التغير ولزوايا ($0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$). حيث يتضح عند السقوط العمودي θ_0 فان ($\eta = n$) وعليه تكون العلاقة بينهما خطية وازدياد زاوية السقوط (المنحني السفلي η_s والعلوي η_p) وتحديد الزوايا القريبة جداً من (90°) ولقيمة محددة لـ η_p فاننا نلاحظ ان هناك قيمتين مختلفتين لـ n : قيمة واطئة n_L واخرى عالية n_H عندها تكون $R_p \approx 0$ وهو شرط بروستر (Brewster's Condition) لمرور الضوء المستقطب لنمط P- ويكون المنحني ذا نهاية صغرى (minimum-value) تحدد قيمتها بالعلاقة:

$$\frac{\partial \eta_p}{\partial n} = 0$$

3. تصميم طلاء مضاد للانعكاس باعتماد السماحية البصرية المعدلة

يتضح من دراسة طيف الانعكاسية لحالة السقوط المائل للضوء ان تصميم طلاء مضاد للانعكاس لحالة السقوط المائل اكثر صعوبة من حالة السقوط العمودي وتزداد الصعوبة للزوايا (90°) لذلك تم دراسة امكانية تصميم طلاء مضاد للانعكاس بالاعتماد على مبدأ السماحية البصرية المعدلة ولزوايا سقوط ($45^\circ, 60^\circ, 80^\circ$) حيث تم ترتيب قيم السماحية البصرية المعدلة لنمطي الاستقطاب S- و P- في الجدول (1)(2) لزوايا السقوط لحالة الانعكاس الخارجي وعند طول موجة التصميم ($\lambda_0 = 550 \text{ nm}$).

تصميم طلاء مضاد للانعكاس لنمط استقطاب معدد بالاعتماد على مفهوم السماحية البصرية المعدلة...
صفاء فليج حسن

• معالجة طيف الانعكاسية لنمط الاستقطاب p-

لدراسة تصميم طلاء مضاد للانعكاس لنمط الاستقطاب P- تم تحديد الزجاج كمادة اساس ($n_{sub}=1.52$). من ملاحظة الجدول (1) و (2) يتضح ان قيم السماحية البصرية للمادة الاساس هي (1.214), (0.925) لزوايا السقوط ($\theta_o=45^\circ$), ($\theta_o=60^\circ$) على التوالي .

لغرض تقليل الانعكاسية R_p يمكن استخدام طبقة مفردة وبسمك بصري ربع طول موجي تحدد وفق الشرط $n = \sqrt{n_o n_s}$ لذا فان السماحية البصرية للغشاء المفرد هي (1.101) عند زاوية سقوط ($\theta_o=45^\circ$) وهذه القيمة تعود للمادة ذات معامل الانكسار القريبة من (1.38) كما موضحة في الجدول (1). اما قيمة السماحية البصرية للغشاء المفرد عند زاوية السقوط ($\theta_o=60^\circ$) هي (0.961) وهي تعود للمادة ذات معامل الانكسار القريبة (1.6). يتضح ان قيم معاملات الانكسار للغشاء المفرد المقابلة لزوايا السقوط (45°) هي ادنى من معامل انكسار المادة الاساس ولزاوية سقوط (60°) اعلى من معامل انكسار المادة الاساس وهي مواد متوفرة مع امكانية استخدامها . الاشكال (3) (4) توضح تغير قيم الانعكاسية R_p مقابل الطول الموجي لطلاء مضاد للانعكاس ذو طبقة مفردة مرسبة على الزجاج لزوايا سقوط ($\theta_o=45^\circ, 60^\circ$) على التوالي.

• معالجة طيف الانعكاسية لنمط الاستقطاب S-

لتقليل طيف الانعكاسية لنمط الاستقطاب S- يتم اتباع نفس الطريقة اعلاه للمادة الاساس ($n_{sub}=1.52$) حيث يتضح من الجدول (1) و (2) ان قيم السماحية البصرية المقابلة لزوايا السقوط ($45^\circ, 60^\circ$) تعود لمواد ذات معامل انكسار اقل من معامل انكسار المادة الاساس وهذه المواد غير متوفرة و لا يمكن استخدامها . لغرض معالجة هذه المشكلة لحالة السقوط المائل سوف يتم رفع قيمة السماحية البصرية للمادة الاساس باضافة طبقة اخرى بسمك ربع طول موجي وبسماحية بصرية عالية (معامل انكسار عالي مقارنة بمعامل انكسار المادة الاساس) لتصبح قيمة السماحية البصرية للترتيب ككل مقبولة والتي تتطلب اضافة طبقة مفردة اخرى تقابل تلك السماحية والتي تعود لمادة متوفرة.

عند زاوية سقوط ($\theta_o=45^\circ$) فان الطبقة الاضافية ذات معامل انكسار (2.45) او سماحية بصرية (3.316) تكون مناسبة مما يؤدي الى ان تكون السماحية البصرية للترتيب ككل (4.516) والتي تتطلب طبقة مفردة بسمك ربع طول موجي ذات سماحية

تصميم طلاء مضاد للانعكاس لنمط استقطاب محدد بالاعتماد على مفهوم السماحية البصرية المعدلة...

صفاء فليج حسن

بصرية (2.120) حيث ان قيمة هذه السماحية تعود للمادة التي معامل انكسارها (1.6) الشكل (5) يوضح قيمة الانعكاسية لنمطي الاستقطاب R_p و R_s لزواية السقوط ($\theta_o = 45^\circ$) للتصميم $Air [1.730H0.820L]glass$ مقارنة بالانعكاسية المادة الاساس بدون طلاء معاير بالنسبة لحالة السقوط العمودي حيث ان H, L تمثل السمك البصري لربع طول موجي للمواد (1.6, 2.45) على التوالي .

اما عند زاوية السقوط ($\theta_o = 60^\circ$) سوف يتم اتباع نفس الطريقة التي تم اتباعها اعلاه حيث ترفع قيمة السماحية للمادة الاساس باضافة طبقة ذات معامل انكسار عالي وهي (2.4) أي سماحية بصرية (4.581) وبذلك تصبح السماحية البصرية الكلية (5.481) وهي بذلك تتطلب اضافة طبقة مفردة بسمك بصري ربع طول موجي ذات سماحية بصرية (2.401) وهي تعود للمادة التي معامل انكسارها (1.48) تقريبا. الشكل (6) يوضح طيف الانعكاسية لنمط الاستقطاب S- و P- دالة للطول الموجي للتصميم $Air[1.640H0.972L]glass$ عند زاوية السقوط ($\theta_o = 60^\circ$). حيث ان H, L السمك البصري للمواد ذات معامل انكسار (2.4, 1.48) على التوالي معاير لحالة السقوط العمودي اما الانعكاسية R_p لهذا التصميم فانها عالية لذا يعتبر هذا التصميم لنمط استقطاب S- محدد هو

• الطلاء المضاد للانعكاس ذو ثلاث طبقات

تعد مسألة تصميم طلاء مضاد للانعكاس لحالة السقوط المائل للضوء من المسائل الصعبة مقارنة بحالة السقوط العمودي حيث تزداد الصعوبة للزوايا ($\sim 90^\circ$) لذا اصبح من الضروري زيادة عدد الطبقات المرسبة والتي تتطلب تحديد معاملات الانكسار للمواد التي تحقق شرط الحصول على انعكاسية صفرية حيث تم اعتماد المواد ($n_L = 2.42$), ($n_H = 1.38$) كاساس لغرض تصميم الطلاء المكون من ثلاث طبقات مرسبة على ارضية اساس من الزجاج ($n_{sub} = 1.52$) ومن ثم اعتماد الطرائق التحليلية (اقتراح اجراء الموائمة في السمك البصري لحالة السقوط المائل نسبة الى السقوط العمودي) لغرض تحديد السمك البصري لكل طبقة للحصول على ادنى انعكاسية. يتضح انه بالامكان الحصول على ادنى انعكاسية للطلاء المضاد للانعكاس لنمط استقطاب محدد عند طول موجة التصميم $\lambda_o = 550nm$ بعد اجراء الموائمة في السمك البصري ونظرا

تصميم طلاء مضاد للانعكاس لنمط استقطاب معدد بالاعتماد على مفهوم السماحية البصرية المعدلة....
صفاء فليح حسن

لصعوبة معالجة طيف النفاذية للمرشح وللزوايا العالية تم اختيار زاوية السقوط 80° (كمثال)

مع اعتماد التصميم (Air | HLH | glass) لنمط الاستقطاب P- والتصميم (Air | LHL | glass) لنمط الاستقطاب S- كتصميم ابتدائي لبدئ معالجة طيف الانعكاسية بعد ادخال مفهوم المواعمة في سمك الطبقات لزاوية السقوط 80° حيث يلاحظ تحسن واضح في طيف الانعكاسية للطلاء كما موضح في الاشكال (7-10) عند التصميمين (1) و (2) ادناه لنمطي الاستقطاب P- و S- على التوالي.

(1) (Air | 1.054H1.105L1.266H | glass) for P- polarization

(2) (Air | 0.925L1.174H1.416L | glass) for S-polarization

الشكل (11)، (12) تمثل طيف الانعكاسية مقابل زوايا السقوط للضوء لنمطي الاستقطاب P- و S- على التوالي للتصميمين اعلاه قبل وبعد اجراء الموائمة حيث يلاحظ ازالة تاثير الناجم عن تغير زوايا السقوط مع امكانية الحصول على انعكاسية صفرية عند طول موجة التصميم بعد ان تم تحديد السمك البصري لكل طبقة للحصول على ادنى انعكاسية .

جدول (1) قيم السماحية البصرية المعدلة لنمطي الاستقطاب S- و P- لمواد ذات

معاملات انكسار مختلفة عند زاوية السقوط ($\theta_0 = 45^\circ$)

n	η_s	η_p
1.3	1.542	1.095
1.38	1.674	1.137
1.4	1.708	1.146
1.46	1.804	1.181
1.52	1.902	1.214
1.6	2.029	1.261
1.7	2.185	1.322
1.9	2.493	1.447
2	2.644	1.512
2.2	2.943	1.644
2.45	3.316	1.809
2.6	3.537	1.910

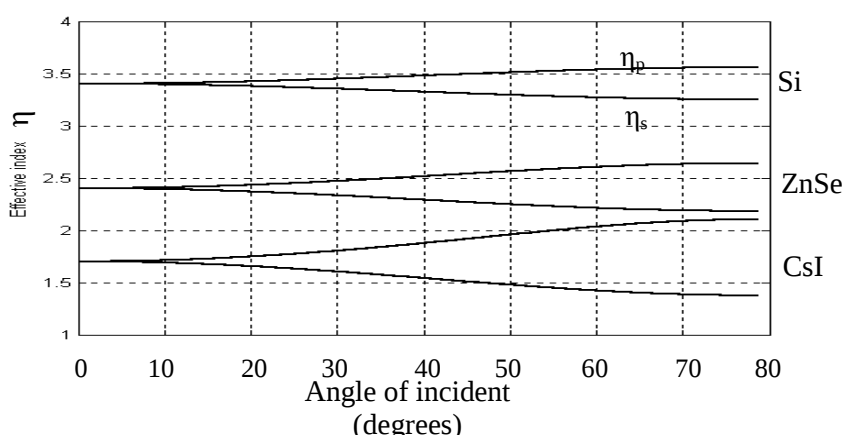
تصميم طلاء مضاد للانعكاس لنمط استقطاب معدد بالاعتماد على مفهوم السماحية البصرية المعدلة....

صفاء فليح حسن

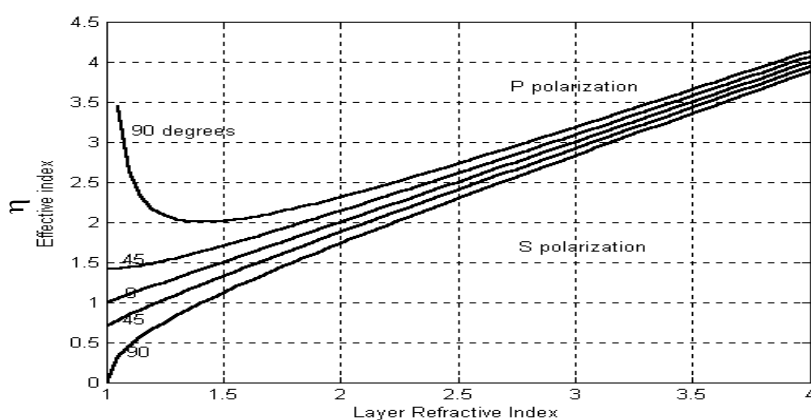
جدول (1) قيم السماحية البصرية المعدلة لنمطي الاستقطاب S- و P- لمواد ذات

معاملات انكسار مختلفة عند زاوية السقوط ($\theta_0=60^\circ$)

n	η_s	η_p
1.3	1.937	0.872
1.38	2.147	0.886
1.4	2.198	0.891
1.46	2.350	0.906
1.52	2.495	0.925
1.6	2.688	0.952
1.7	2.924	0.988
1.9	3.382	1.067
2	3.604	1.109
2.2	4.043	1.196
2.45	4.581	1.310
2.6	4.898	1.380



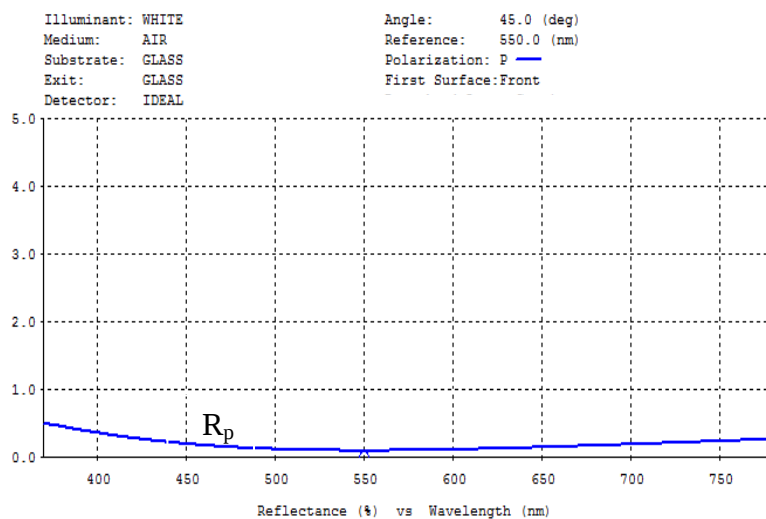
شكل (1) السماحية البصرية لنمطي الاستقطاب العمودي والموازي ولزوايا السقوط من الهواء إلى مواد ذات معاملات انكسار مختلفة



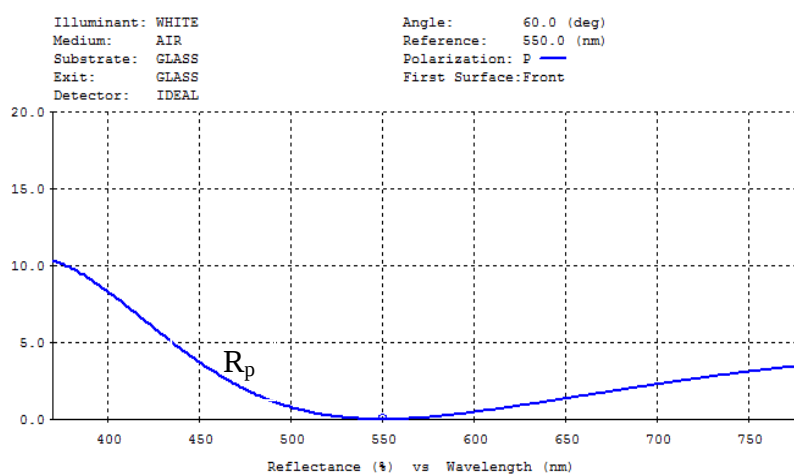
شكل (2) معامل الانكسار الفعال η دالة للتغير في قيم معامل الانكسار الحقيقي للمواد n ولزوايا السقوط ($0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$)

تصميم طلاء مضاد للانعكاس لنمط استقطاب محدد بالاعتماد على مفهوم السماحية البصرية المعدلة....

صفاء فليح حسن



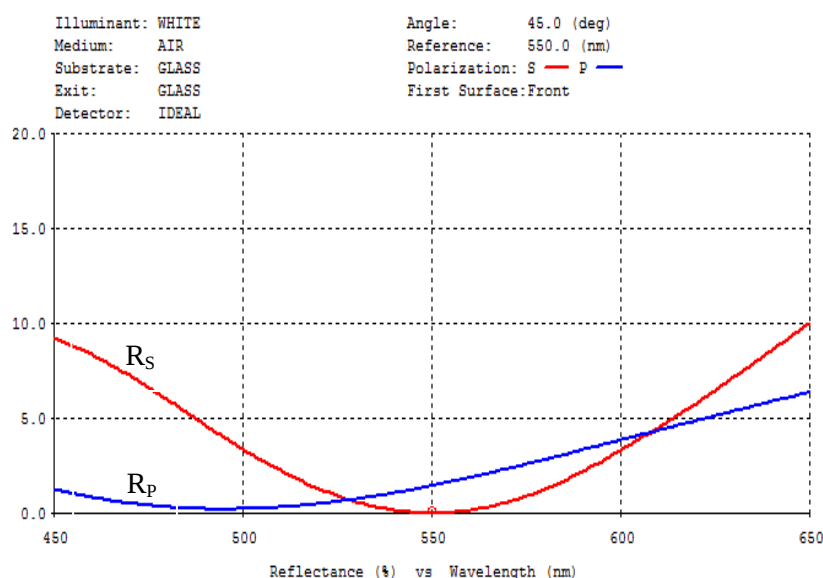
شكل (3) الانعكاسية دالة للطول الموجي لنمط الاستقطاب-P لطلاء مضاد للانعكاس ذو طبقة مفردة مرسبة على الزجاج عند زاوية السقوط ($\theta_o = 45^\circ$) للتصميم $(n_L = 1.38) \text{ Air} | L | \text{ glass}$



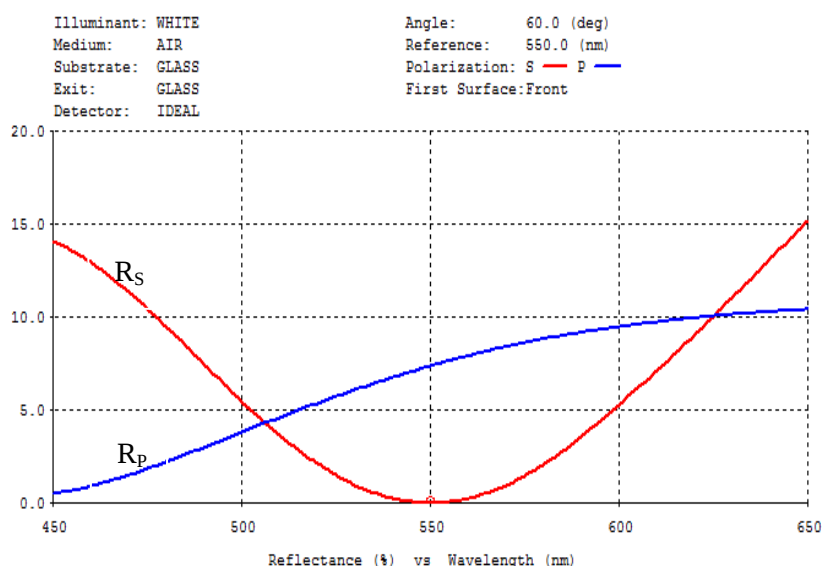
شكل (4) الانعكاسية دالة للطول الموجي لنمط الاستقطاب-P لطلاء مضاد للانعكاس ذو طبقة مفردة مرسبة على الزجاج عند زاوية السقوط ($\theta_o = 60^\circ$) للتصميم $\text{Air} | H | \text{glass}$

تصميم طلاء مضاد للانعكاس لنمط استقطاب محدد بالاعتماد على مفهوم السماحية البصرية المعدلة....

صفاء فليح حسن



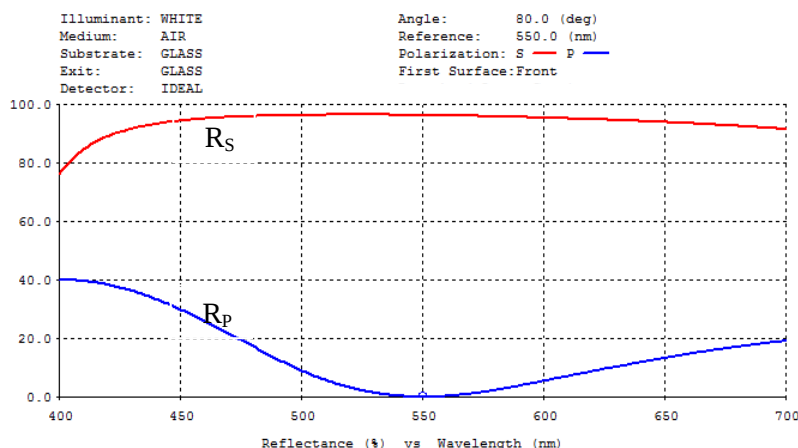
شكل (5) الانعكاسية دالة للطول الموجي لنمطي الاستقطاب لطلاء مضاد للانعكاس مكون من طبقتين مرسبة على الزجاج عند زاوية السقوط ($\theta_0=45^\circ$) للتصميم Air [1.730H0.820L]glass ($n_L=1.6$), ($n_H=2.45$)



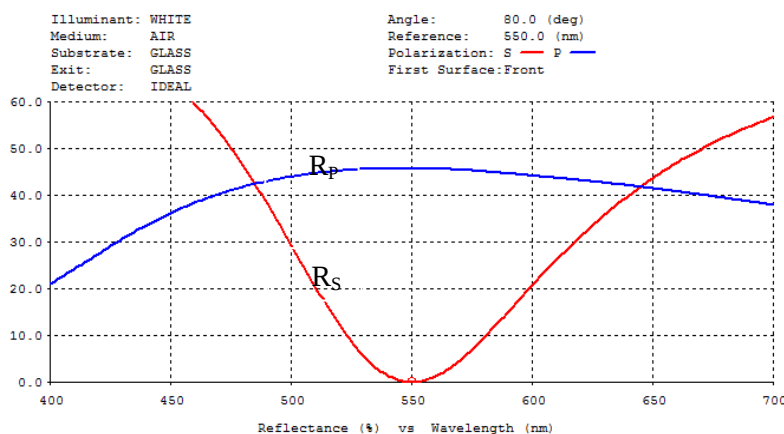
شكل (6) الانعكاسية دالة للطول الموجي لنمطي الاستقطاب لطلاء مضاد للانعكاس مكون من طبقتين مرسبة على الزجاج عند زاوية السقوط ($\theta_0=60^\circ$) للتصميم Air [1.640H0.972L]glass ($n_L=1.48$), ($n_H=2.4$)

تصميم طلاء مضاد للانعكاس لنمط استقطاب محدد بالاعتماد على مفهوم السماحية البصرية المعدلة....

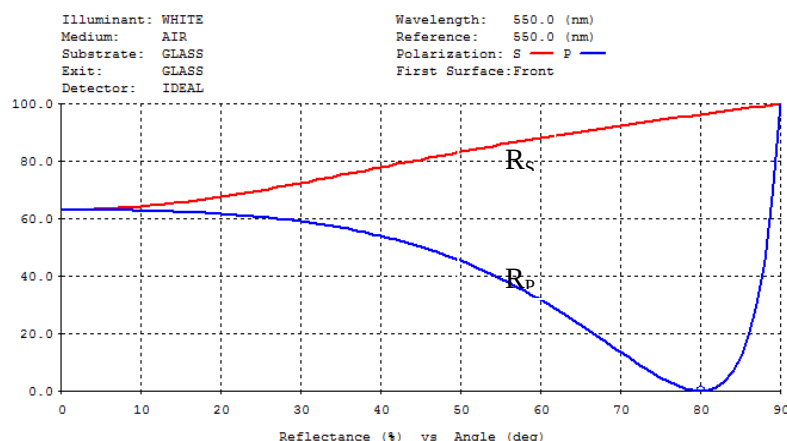
صفاء فليح حسن



شكل (7) الانعكاسية دالة للطول الموجي لطلاء مضاد للانعكاس لنمط الاستقطاب P- مكون من ثلاث طبقات عند زاوية السقوط ($\theta_0=80^\circ$) للتصميم (Air | 1.054H1.105L1.266H | glass) ($n_L=1.48$), ($n_H=2.4$)



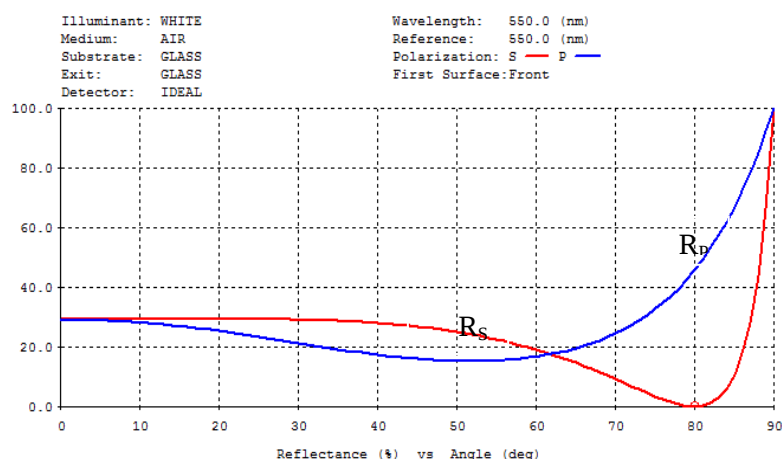
شكل (8) الانعكاسية دالة للطول الموجي لطلاء مضاد للانعكاس لنمط الاستقطاب S- مكون من ثلاث طبقات عند زاوية السقوط ($\theta_0=80^\circ$) للتصميم (Air | 0.925L1.174H1.416L | glass) ($n_L=1.48$), ($n_H=2.4$)



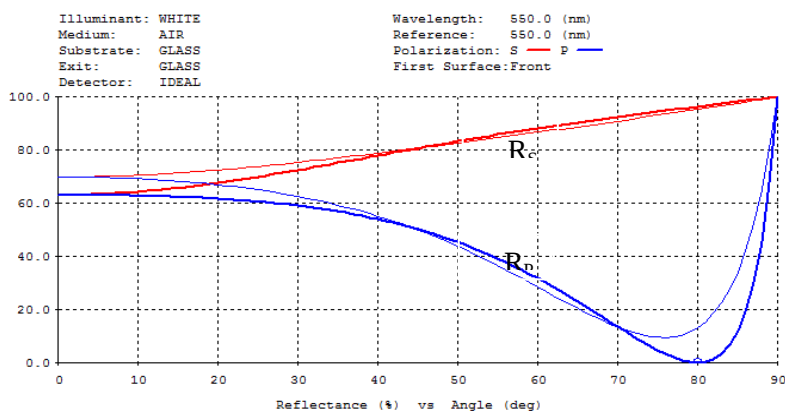
شكل (9) الانعكاسية دالة لزاوية السقوط للضوء لطلاء مضاد للانعكاس لنمط الاستقطاب P- مكون من ثلاث طبقات مرسبة على الزجاج عند زاوية السقوط ($\theta_0=80^\circ$) للتصميم النهائي (الامثل)

تصميم طلاء مضاد للانعكاس لنمط استقطاب محدد بالاعتماد على مفهوم السماحية البصرية المعدلة....

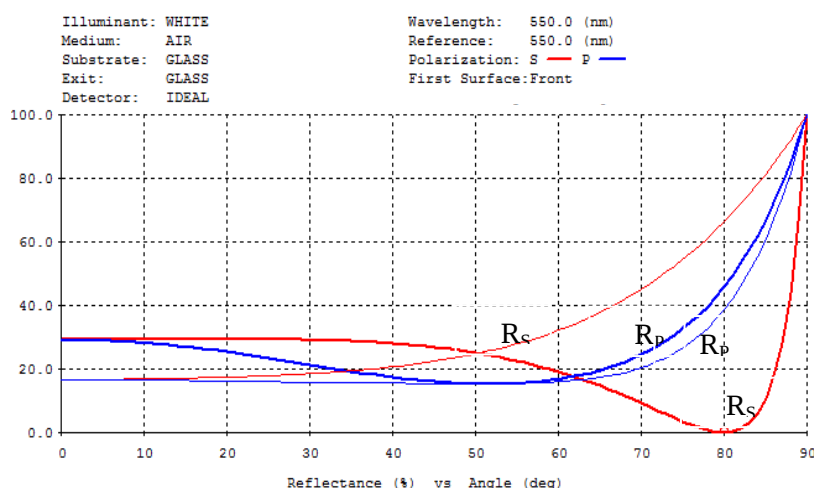
صفاء فليج حسن



شكل (10) الانعكاسية دالة لزوايا السقوط للضوء لطلاء مضاد للانعكاس لنمط الاستقطاب S- مكون من ثلاث طبقات مرسبة على الزجاج عند زاوية السقوط ($\theta_0 = 80^\circ$) للتصميم النهائي (الامتثل) (Air | 0.925L1.174H1.416L | glass)



شكل (11) مقارنة الانعكاسية دالة لزوايا السقوط للضوء لنمط الاستقطاب P- لطلاء مضاد للانعكاس مكون من ثلاث طبقات مرسبة على الزجاج عند زاوية السقوط ($\theta_0 = 80^\circ$) للتصميم الابتدائي (المنحني الفاتح)



شكل (12) مقارنة الانعكاسية دالة للطول الموجي لنمط الاستقطاب S- لطلاء مضاد للانعكاس مكون من ثلاث طبقات مرسبة على الزجاج عند زاوية السقوط ($\theta_0 = 80^\circ$) للتصميم الابتدائي (المنحني الفاتح) والنهائي (الامتثل) (المنحني الغامق)

الاستنتاجات

مما تقدم يمكن الاستنتاج بالاتي :

- ان طيف الانعكاسية لحالة السقوط المائل للضوء يعتمد اعتمادا كليا على كل من زاوية السقوط ونمط استقطابه فضلا عن معاملات انكسار او السماحية البصرية البصرية للمادة الاساس والمواد المرسبة وسمكها البصري المناظر وترتيبها
- ان اقتراح مفهوم السماحية البصرية المعدلة لنمطي الاستقطاب P- و S- لغرض تحديد معاملات انكسار المواد المرسبة بالاضافة الى استخدام الطرائق التحليلية (مواصفة السمك البصري) والتي يمكن من خلالها تحديد السمك البصري للطبقات يمكن اعتبارها طريقة كفوءة وفعالة لتصميم طلاء مضاد للانعكاس لنمط استقطاب محدد.
- ان قيم السماحية البصرية المعدلة تتغير بتغير زوايا السقوط للضوء ويكون الفصل بين السماحياتين كبير للمواد ذات معامل الانكسار الواطئ ويقل بزيادة معامل الانكسار للمواد.
- من دراسة منحنيات السماحية البصرية للمواد مع تغير زوايا السقوط يتضح ان التقاطعات في منحنيات السماحية والتي تتساوى عندها قيم السماحية البصرية لمادتين ذات معامل انكسار مختلف ومنه يمكن الاستنتاج بإمكانية استبدال مادة بدلا عن مادة اخرى لتعمل عند نفس نمط الاستقطاب او لنمطين متعاكسين وهذا يسهل بناء تصاميم لمرشحات بصرية مختلفة .

References

- [1] H. A. Macleod, "Thin Film Optical Filter", (McGraw-Hill, New York, (1986).
- [2] L. Frank ,S.J. Leno, S. Pedrotti, "Introduction to Optics," Prentice-Hall, Inc., New Jersey, (1993).
- [3] Handbook of Infrared Optical Materials, Paul Klocek, Marcel Dekker, Inc., New York, (1991).
- [4] C.L. Negendra ,M. Viswanathan ,and ,G.K.M. Thutuali, "Design and optimization of low-loss Wdiband antireflection coating for the visible and infrared regions :Anew method,"Appl.Opt.23,115-119(1985)
- [5] H.K.Pulker,"Characterization of optical thin-film ,"Appl.Opt.18,1969-1973(1979)
- [6] F.J.Duarte and J.A.Piper,"Adouble-prism beam expander for pulsed dye lasers,"Opt.Commun.35,100-104(1980).
- [7] L.Li and J.A.Dobrowolski,"Computation speeds of different optical thin film

synthesis methods " ,Appl.Opt.**31**, 3790-3799(1992).

- [8] H. G. Rashid, "Design and optimization of thin films optical filters with application in the visible and infrared regions", Ph.D. thesis, Al-Mustansiriyah University, (1996).
- [9] D.Ozlem, Z.D. Huseyin, "Design and preparation of Antireflection and reflection optical coating". Turk J. Physic. 28, PP: 139 – 144(2004|)
- [10] E.Hecht, "Optics", 3rd ed., (Addison-Wesley, New York), (1998).
- [11] L.F.Pedrotti, L.S. Pedrotti, "Introduction to Optics Prentice- Hall International Inc. Chap. 22, PP: 455, (1987).
- [12] K.Nobert, K.P.Hans, "Spring series in optical Science 88"(2003).
- [13] H.A.Macleod, "Thin Film Optical Filters", 3rd ed. Bristol and Philadelphia Institute of Physics Publishing, (2001).
- [14] Lili, "The design of optical thin film coatings with total and frustrated total internal reflection", Optics and Photonics News, September (2003).
- [15] A. Thelen, "Design of Optical Interference Coatings" (McGraw-Hill, New York, (1989).

Design of antireflection optical coating for specific mode polarization using the concept modified optical admittance by

Abstract

This work includes a study to design of antireflection coating at non-normal incidence of light for P- or S- polarization depending on modified optical admittance. The reflectance of single double and multilayer dielectric antireflection coating was computed for different angles. The effect of different parameters; such as angle of incidence, layer thicknesses and indices was studied. The results illustrate that the concept of modified admittance was introduced as an alternative analytical antireflection coatings design method.