مجلة جامعة بابل / العلوم الصرفة والتطبيقية/ العدد (4) / المجلد (15) : 2008

دراسة نظرية لتصميم طلاء مضاد للانعكاس ذي ثلاث طبقات مرسب على مادة شبه موصلة

ياسين حسن كاظم لميس عبد الكريم

كلية العلوم– جامعة بابل

الخلاصة

يتناول البحث دراسة نظرية لتصميم طلاء مضاد للانعكاس ذي ثلاث طبقات مرسب على مادة شبه موصلة (السليكونn_s=3.45) لزوايا سقوط مائلة وعند الطول الموجي 10.6µm، وقد تمت صياغة المعادلات الرياضية التي تمثل شرط الحصول على انعكاسية صفر ولنمطي الاستقطاب العمودي والموازي، كما تمت دراسة تأثير التغير بزوايا السقوط في كمية الضوء المنعكس، بالإضافة إلى ذلك تمت دراسة تأثير التغير بسمك الطبقة المرسبة بنسبة (15%) من سمك الطبقة عند التصميم في طيف الانعكاسية.

Abstract

This research tackles a theoretical study of designing antireflection coating of triple layer deposited on a semiconductor substrate (silicon n_s=3.45) for grazing incidence angles at the wavelength (λ_o=10.6µm). The selection rules that give virtual zero reflection was derived for S- and P- polarization. The effect of varying incidence angle on the reflecting light amount was studied, in addition, the effect of varying the thickness of the deposited layer by 15% on the reflectance has been studied.

1. المقدمة

ان ظاهرة انعكاس الموجة الكهرومغناطيسية عن سطوح المواد العازلة أو المعدنية تؤدي إلى خسائر كبيرة في طاقة الموجة الساقطة، ولتقليل الطاقة المفقودة تستعمل الاطلاء المضادة للانعكاس(Genkins, 1981)، إن كمية الطاقة المنعكسة والنافذة تحددها معادلات فرنيل للضوء وهي مجموعة معادلات تصف التأثيرات التي تحصل للموجة الكهرومغناطيسية الساقطة، والتي تعتمد على كل من طبيعة الوسطين، نمط الاستقطاب للموجة الساقطة، زاوية السقوط ومعامل الانكسار(Hecht, 1998; Macleod, 1986).

تعد تصاميم الطلاء المضاد للانعكاس ذات أهمية كبيرة لكثير من الأجهزة البصرية التي تعمل ضمن مديات محددة من الطيف الكهرومغناطيسي وبالأخص منطقتي الطيف المرئي وتحت الحمراء القريبة في تقليل الطاقة المفقودة نتيجة لظاهرة الانعكاس للضوء الساقط(Mista *et al*., 2005; Hecht, 1998) كالخلايا الشمسية (Solar Cells) والتلسكوبات والأجهزة البصرية المستخدمة في الأنظمة الليزرية (Allan, 2004; Pulker, 1979).

اعتمدت تصاميم الطلاء المضاد للانعكاس عدة نظريات علمية لذا فقد تعددت طرائق بناء هذه التصاميم (Dobrowloski *et al*., 1990; Thelen, 1966). وبحثنا الحالي اعتمد طريقة التصميم التحليلية المعتمدة على نظرية المصفوفة المميزة المعتمدة على معادلات فرنيل والمشتقة من معادلات ماكسويل للموجة الكهرومغناطيسية.

2. الجزء النظري

أ. السمك البصري يساوي ($\lambda_o/4, \lambda_o/4, \lambda_o/4$)

تعطى الانعكاسية لطلاء مضاد للانعكاس ذي ثلاث طبقات بالمصفوفة المميزة الآتية(Nagendra et al., 1988):

$$\begin{bmatrix} B \\ C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\delta_1 & i\sin\delta_1/\eta_1 \\ i\eta_1\sin\delta_1 & \cos\delta_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\delta_2 & i\sin\delta_2/\eta_2 \\ i\eta_2\sin\delta_2 & \cos\delta_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\delta_3 & i\sin\delta_3/\eta_3 \\ i\eta_3\sin\delta_3 & \cos\delta_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ \eta_{sub} \end{bmatrix} \quad ...(1)$$

في حالة كون السمك البصري لكل طبقة ربع طول موجة أي إن

$$\delta_1 = \delta_2 = \delta_3 = \frac{\pi}{2}$$

فان المعادلة(1) ستصبح بالشكل الآتي:

$$\begin{bmatrix} B \\ C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & i/\eta_1 \\ i\eta_1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & i/\eta_2 \\ i\eta_2 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & i/\eta_3 \\ i\eta_3 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ \eta_{sub} \end{bmatrix}$$

وبإجراء عملية ضرب المصفوفات فان الانعكاسية تكون(Turbadar, 1964)

$$R = \left(\frac{\eta_o \eta_2^{\,2} \eta_{sub} - \eta_1^{\,2} \eta_3^{\,2}}{\eta_o \eta_2^{\,2} \eta_{sub} + \eta_1^{\,2} \eta_3^{\,2}} \right)^2 \qquad .....(2)$$

حيث أن

$$R = \left(\frac{\eta_o B - C}{\eta_o B + C} \right)^2 \qquad .....(3)$$

تكون الانعكاسية صفراً ولنمطي الاستقطاب العمودي والموازي عندما (Musset *et al.*, 1970; Pedrotti *et al.*, 1987)

$$\eta_1\eta_3 = \eta_2\sqrt{\eta_o\eta_{sub}} \qquad .....(4)$$

تمثل المعادلة الأخيرة شرط اختيار معامل الانكسار الفعال، ووفق هذا الشرط يمكن تحديد معاملات الانكسار الحقيقية للمواد المرسبة ولنمطي الاستقطاب S,P كالآتي:

لنمط الاستقطاب S يعطى معامل الانكسار الفعال بالمعادلة الآتية

$$\eta_i = n_i \cos\theta_i \qquad .....(5)$$

حيث أن $i = 0, 1, 2, 3, \ldots\ldots$ sub

يمكن كتابة المعادلة(4) بالشكل:

$$n_1 \cos\theta_1 n_3 \cos\theta_3 = n_2 \cos\theta_2 \sqrt{n_o \cos\theta_o n_{sub} \cos\theta_{sub}} \qquad .....(6)$$

وبالاستفادة من قانون سنيل تصبح المعادلة بالشكل:

$$n_1^{\,2}\left(1 - \frac{n_o^{\,2}\sin^2\theta_o}{n_1^{\,2}}\right) = \frac{n_2^{\,2}\left(1 - \frac{n_o^{\,2}\sin^2\theta_o}{n_2^{\,2}}\right) n_o \left(1 - \frac{n_o^{\,2}\sin^2\theta_o}{n_o^{\,2}}\right)^{1/2} n_{sub}\left(1 - \frac{n_o^{\,2}\sin^2\theta_o}{n_{sub}^{\,2}}\right)^{1/2}}{n_3^{\,2}\left(1 - \frac{n_o^{\,2}\sin^2\theta_o}{n_3^{\,2}}\right)} \qquad .....(7)$$

والتي تصبح بالشكل:

$$n_1^2 = \frac{n_\circ^2 n_{sub}^2 n_2^4}{n_3^4} A + u \qquad \text{.....(8)}$$

حيث أن

$$u = n_\circ^2 \sin^2\theta_\circ \qquad \text{.....(9)}$$

$$A = \frac{n_3^4 (n_2^2 - u)(n_\circ^2 - u)^{1/2}(n_{sub}^2 - u)^{1/2}}{n_2^4 n_\circ^2 n_{sub}^2 (n_3^2 - u)} \qquad \text{.....(10)}$$

أما لنمط الاستقطاب P فان معامل الانكسار الفعال يعطى بالمعادلة:

$$\eta_i = \frac{n_i}{\cos\theta_i} \qquad \text{.....(11)}$$

بتعويض المعادلة الأخيرة بالمعادلة(4) نحصل على:

$$\frac{n_1^2}{\cos^2\theta_1}\frac{n_3^2}{\cos^2\theta_3} = \frac{n_2^2}{\cos^2\theta_2}\frac{n_\circ}{\cos\theta_\circ}\frac{n_{sub}}{\cos\theta_{sub}} \qquad \text{.....(12)}$$

وبالاستفادة من قانون سنيل وبعد إجراء بعض التعديلات الرياضية تصبح المعادلة الأخيرة بالشكل:

$$\frac{n_1^4}{n_1^2 - u} = \frac{1}{A} \Rightarrow n_1^4 A = n_1^2 - u \qquad \text{.....(13)}$$

وعند حل هذه المعادلة بطريقة الدستور نحصل على:

$$n_1^2 = \frac{1 \mp \sqrt{1 - 4Au}}{2A}$$

$$\therefore n_1^2 = (2A)^{-1}(1 \mp \sqrt{1 - 4Au}) \qquad \text{.....(14)}$$

توضح المعادلتان (8) و(14) شرطي الحصول على انعكاسية صفرية لطلاء مضاد للانعكاس ذي ثلاث طبقات على أساس اختيار معاملات الانكسار الحقيقية للمواد المرسبة ولنمطي الاستقطاب S, P وذلك عندما يكون السمك البصري لكل طبقة ربع طول موجي.

ب. السمك البصري يساوي ($\lambda_\circ/4, \lambda_\circ/2, \lambda_\circ/4$)

عند ترسيب ثلاث طبقات متناظرة بحيث يكون السمك البصري للطبقتين الخارجية والداخلية ربع طول موجة وللطبقة الوسطى نصف طول موجة فان الانعكاسية تكون:

$$\begin{bmatrix} B \\ C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & i/\eta_1 \\ i\eta_1 & 0 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 0 & i/\eta_3 \\ i\eta_3 & 0 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 1 \\ \eta_{sub} \end{bmatrix}$$

وبإجراء عملية ضرب المصفوفات فان الانعكاسية تكون

$$R = \left(\frac{\eta_\circ \eta_3^2 - \eta_{sub}\eta_1^2}{\eta_\circ \eta_3^2 + \eta_{sub}\eta_1^2}\right)^2 \qquad \text{.....(15)}$$

تكون الانعكاسية صفراً لهذا النوع من الطلاء عندما(Cox *et al*., 1962)

$$\eta_\circ \eta_3^2 = \eta_{sub}\eta_1^2 \qquad \text{.....(16)}$$

لنمط الاستقطابS بتعويض المعادلة(5) في المعادلة الأخيرة نحصل على

$$n_\circ \cos\theta_\circ n_3^{\,2}\cos^2\theta_3 = n_{sub}\cos\theta_{sub} n_1^{\,2}\cos^2\theta_1 \qquad \text{.....(17)}$$

وبالاستفادة من قانون سنيل وبتعويض المعادلة (9) تصبح المعادلة الأخيرة بالشكل

$$n_1^{\,2} = \frac{n_\circ^{\,2} n_3^{\,4}}{n_{sub}^{\,2}} A + u \qquad \text{.....(18)}$$

حيث ان

$$A = \frac{n_{sub}^{\,2}(n_\circ^{\,2}-u)^{1/2}(n_3^{\,2}-u)}{n_\circ^{\,2} n_3^{\,4}(n_{sub}^{\,2}-u)^{1/2}} \qquad \text{.....(19)}$$

أما لنمط الاستقطاب P فبتعويض المعادلة (11) في المعادلة(16) وبإجراء التبسيطات الرياضية نحصل على

$$\frac{n_1^{\,4}}{(n_1^{\,2}-u)} = \frac{n_\circ^{\,2} n_3^{\,4}(n_{sub}^{\,2}-u)^{1/2}}{(n_\circ^{\,2}-u)^{1/2}(n_3^{\,2}-u)n_{sub}^{\,2}} = \frac{1}{A} \qquad \text{.....(20)}$$

وعند حل هذه المعادلة بطريقة الدستور نحصل على:

$$n_1^{\,2} = \frac{1 \mp \sqrt{1-4Au}}{2A}$$

$$\therefore n_1^{\,2} = (2A)^{-1}(1 \mp \sqrt{1-4Au}) \qquad \text{.....(21)}$$

3. النتائج والمناقشة

1. السمك البصري ($\lambda_o/4, \lambda_o/4, \lambda_o/4$)

تم اختيار مادة السليكون كمادة أساس ودراسة طيف انعكاسيتها عند الطول الموجي 10.6μm ولمدى من زوايا السقوط(0^o-70^o) وذلك عندما يكون السمك البصري لكل طبقة مساوي لربع طول موجة، كما تم تحديد معامل الانكسار للطبقة الخارجية والوسطى والداخلية بالاعتماد على المعادلتين (8) و(14) ولنمطي الاستقطاب العمودي والموازي.

وفيما يلي أهم العوامل المؤثرة في انعكاسية هذا النوع من الطلاء.

أ. تأثير تغير زوايا السقوط

يوضح الشكلين (1)و(2) تغير قيم الانعكاسية مقابل الطول الموجي ولمدى من زوايا السقوط (0^o-60^o) ولنمطي الاستقطاب S,P على التوالي، يلاحظ من الشكلين أن انعكاسية نمط الاستقطاب P للزوايا ($\theta_o \leq 30°$) تقل بزيادة زاوية السقوط وتكون صفرية عند الزاوية (30°)، أما لزاوية السقوط($\theta_o > 30°$) فيلاحظ بان الانعكاسية تزداد تدريجيا بزيادة زاوية السقوط. أما لنمط الاستقطاب S فان الانعكاسيةRs تزداد تدريجياً بزيادة زاوية السقوط وتكون اقل قيمة لها عند طول موجة التصميم لكنها لاتصل إلى القيمة الصفرية.

ب. تأثير تغير سمك الطبقة المرسبة

توضح الأشكال من (3) إلى (8) تغير قيم الانعكاسية مقابل الطول الموجي عند تغير السمك البصري للطبقات الثلاث بمقدار (±15%) من السمك البصري للتصميم الأساس ولنمطي الاستقطاب العمودي والموازي، يلاحظ من الأشكال إن الزيادة والنقصان بسمك الطبقات الداخلية والخارجية يؤدي إلى إزاحة القيم الصغرى

للانعكاسية باتجاه الاطوال الموجية الطويلة والقصيرة، أما الزيادة والنقصان بسمك الطبقة الوسطى فلا يؤدي إلى تغيير بقيمة الانعكاسية عن انعكاسية التصميم الأصلي.

2. السمك البصري ($\lambda_o/4, \lambda_o/2, \lambda_o/4$)

تم ترسيب ثلاث طبقات متناظرة على مادة السليكون بحيث يكون السمك البصري للطبقتين الخارجية والداخلية ربع طول موجة وللطبقة الوسطى نصف طول موجة، وقد تم تحديد معاملات الانكسار للمواد المرسبة التي تحقق شرط الحصول على انعكاسية صفر ولنمطي الاستقطابS,P باستعمال المعادلتين (18)و(21)، وسنتناول اهم العوامل المؤثرة في انعكاسية هذا النوع من الطلاء.

أ. تأثير تغير زوايا السقوط

يوضح الشكلين (9)و(10) تغير قيم الانعكاسية مع الطول الموجي لمدى من زوايا السقوط (70^o-0^o) ولنمطي الاستقطاب العمودي والموازي على التوالي، يتضح من الشكلين انه في حالة انعكاسية نمط الاستقطاب P فان الانعكاسية للزوايا($\theta_o \leq 45°$) تقل بزيادة زوايا السقوط وتكون مساوية للصفر عند طول موجة التصميم، كما يلاحظ بان الانعكاسية الصفرية عند الزاوية 30° تكون بمدى كبير نسبياً (9.5μm-12 μm)، أما للزوايا ($\theta_o \geq 50°$) فان الانعكاسية تزداد بصورة مفاجئة بزيادة زاوية السقوط. أما لنمط الاستقطابS فان الانعكاسية تزداد بزيادة زاوية السقوط وتكون مساوية للصفر للزوايا ($\theta_o \leq 30°$) لمدى يتراوح (10μm-11 μm).

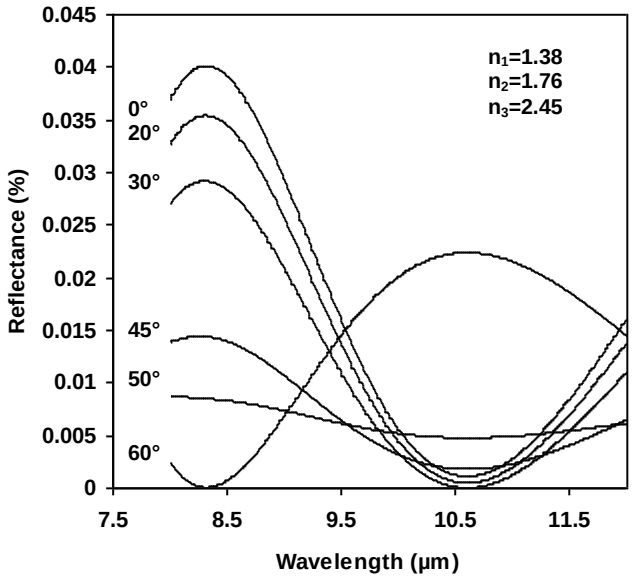
ب. تأثير تغير السمك البصري للطبقة المرسبة

توضح الأشكال من (11) إلى (16) تغير قيم الانعكاسية مع الطول الموجي عند تغير سمك كل طبقة بمقدار (±15%) من السمك الذي تم فيه التصميم ولنمطي الاستقطاب S,P على التوالي، يلاحظ من الأشكال انه لنمط الاستقطابP فان تأثير تغير سمك الطبقتين الداخلية والوسطى على التصميم يكون اكبر من تأثير الطبقة الخارجية، أما لنمط الاستقطابS فان تغير سمك الطبقتين الخارجية والوسطى يؤدي إلى تقليل الانعكاسية للقيمة الصفرية مع إزاحتها عن طول موجة التصميم الأصلي. تتوافق النتائج التي حصلنا عليها مع نتائج الباحثTurbadar(1964) الذي اعتمد في تصميمه المعادلات الضمنية بدل المصفوفة المميزة، حيث اقتصرت دراسته على مادة الزجاج كمادة أساس.

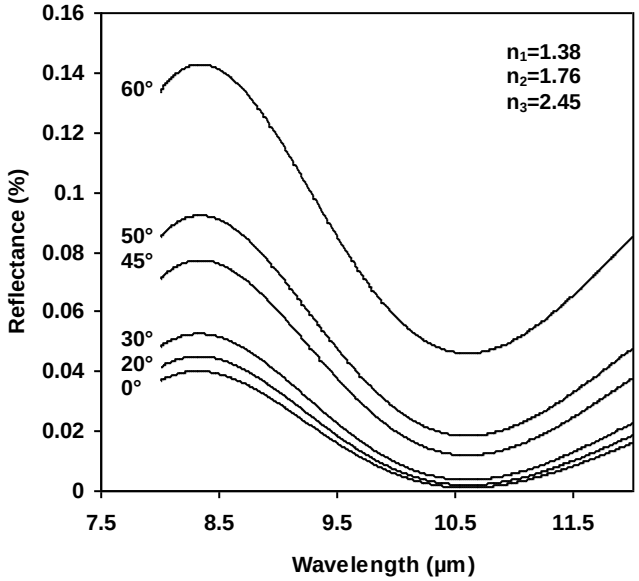
4. الاستنتاجات

يمكن تلخيص أهم الاستنتاجات لهذه الدراسة بما يلي:

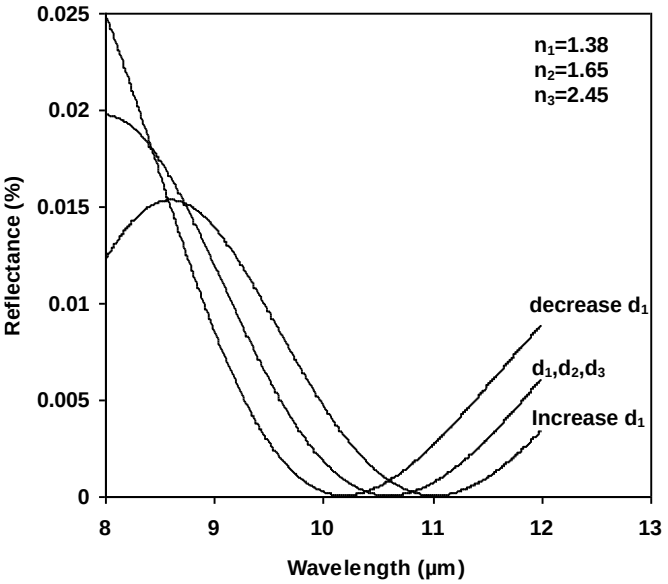
1. إمكانية الحصول على مواد ذات معامل انكسار حقيقي يتفق مع شرط الحصول على انعكاسية صفرية لتصميم طلاء مضاد للانعكاس ذي ثلاث طبقات لان المواد متوفرة ضمن محددات التصميم.
2. إن انعكاسية مادة السليكون تزداد تدريجياً بزيادة زاوية السقوط لنمط الاستقطاب–S، أما لنمط الاستقطاب–P فنجد بان الانعكاسية تقل بزيادة زاوية السقوط للزوايا الصغيرة ثم تزداد بصورة مفاجئة للزوايا الكبيرة.
3. يمكن الحصول على اكبر مدى للطول الموجي تكون فيه الانعكاسية مساوية للصفر هو عندما يكون السمك البصري للتصميم ($\lambda_o/4, \lambda_o/2, \lambda_o/4$).



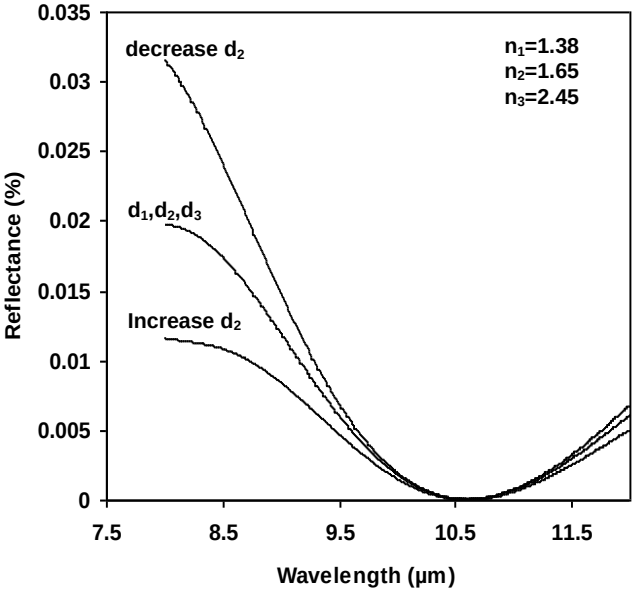
الشكل (1) تغير الانعكاسية مقابل الطول الموجي لطلاء مضاد للانعكاس ذو ثلاث طبقات وبسمك بصري($\lambda o/4,\lambda o/4,\lambda o/4$) مرسب على السليكون ولزوايا السقوط (0-06) لنمط الاستقطاب-P



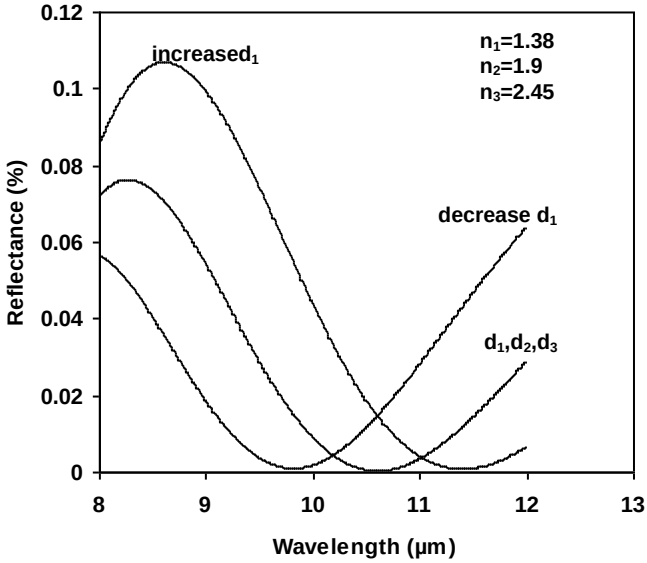
الشكل (2) تغير الانعكاسية مقابل الطول الموجي لطلاء مضاد للانعكاس ذو ثلاث طبقات وبسمك بصري($\lambda o/4,\lambda o/4,\lambda o/4$) مرسب على السليكون ولزوايا السقوط (0-06) لنمط الاستقطاب-S



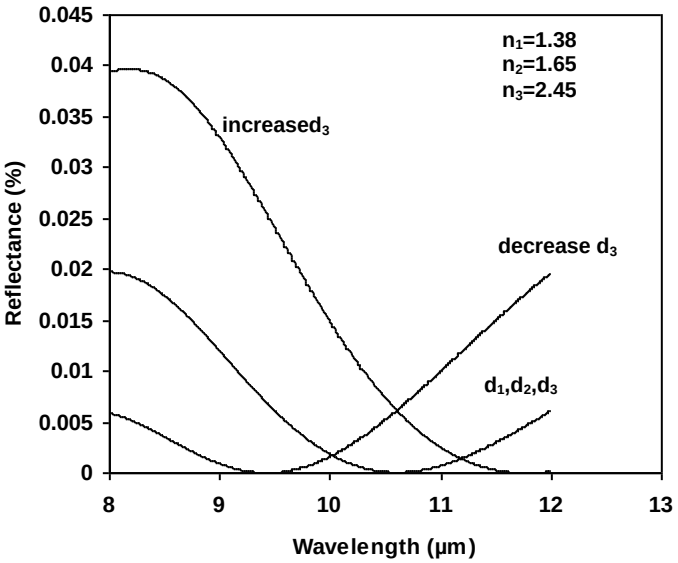
الشكل (3) تغير الانعكاسية مقابل الطول الموجي لطلاء مضاد للانعكاس ذو ثلاث طبقات وبسمك بصري ($\lambda_o/4,\lambda_o/4,\lambda_o/4$) مرسب على مادة السليكون عند زاوية السقوط 45° ولنمط الاستقطاب-P



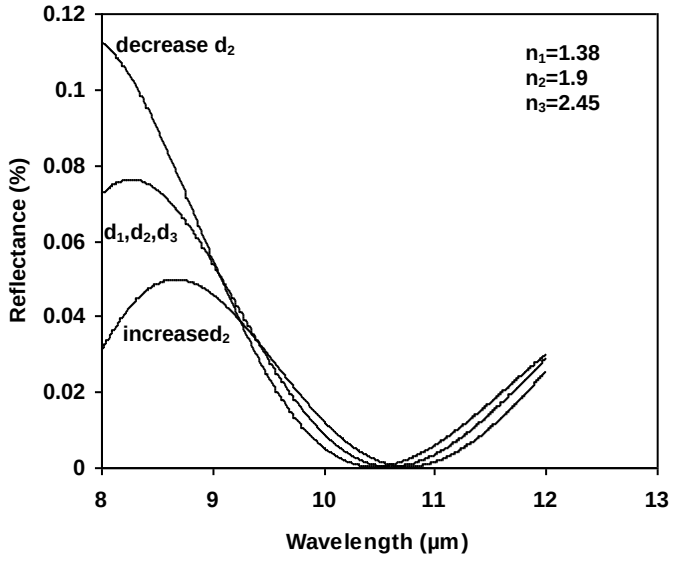
الشكل (4) تغير الانعكاسية مقابل الطول الموجي لطلاء مضاد للانعكاس ذو ثلاث طبقات وبسمك بصري ($\lambda_o/4,\lambda_o/4,\lambda_o/4$) مرسب على مادة السليكون عند زاوية السقوط 45° ولنمط الاستقطاب-P



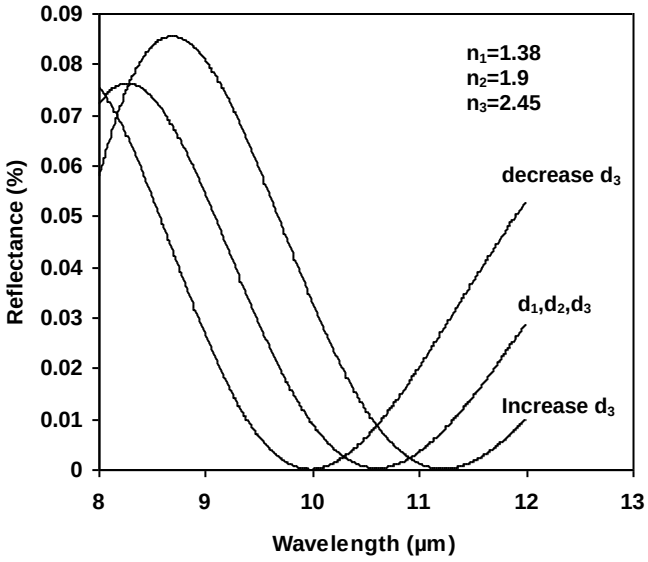
الشكل (6) تغير الانعكاسية مقابل الطول الموجي لطلاء مضاد للانعكاس ذو ثلاث طبقات وبسمك بصري $(\lambda_o/4,\lambda_o/4,\lambda_o/4)$ مرسب على مادة السليكون عند زاوية السقوط 45° ولنمط الاستقطاب-P



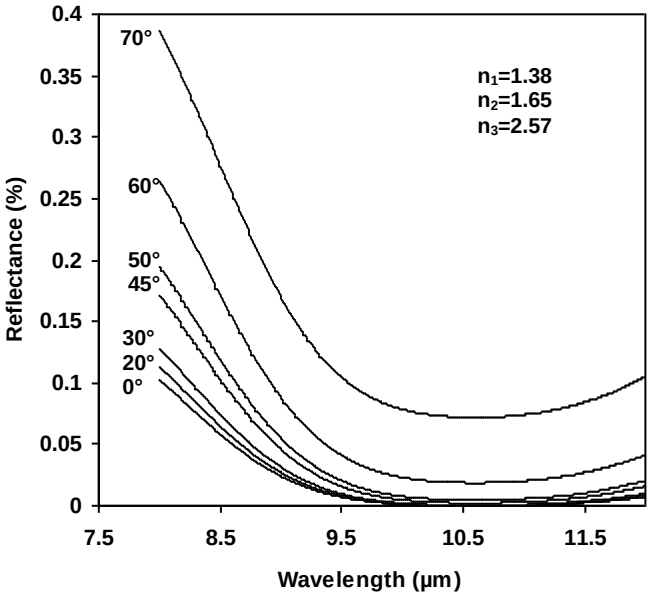
الشكل (5) تغير الانعكاسية مقابل الطول الموجي لطلاء مضاد للانعكاس ذو ثلاث طبقات وبسمك بصري $(\lambda_o/4,\lambda_o/4,\lambda_o/4)$ مرسب على مادة السليكون عند زاوية السقوط 45° ولنمط الاستقطاب-P



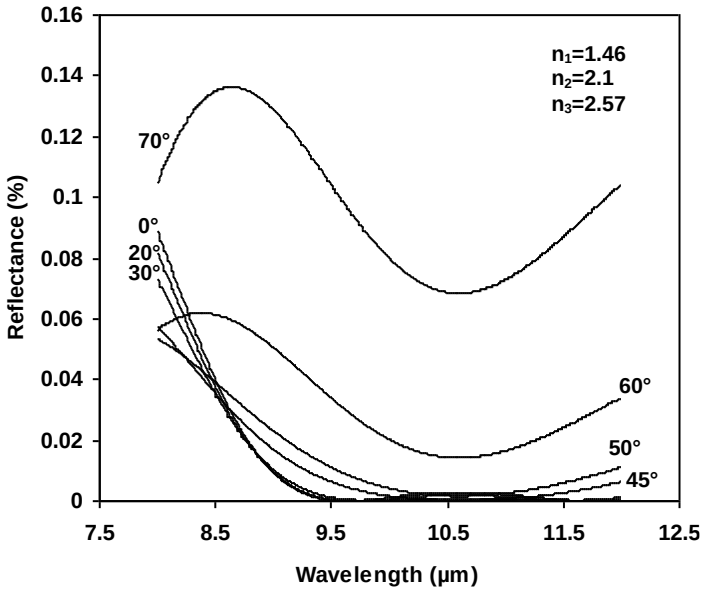
الشكل (8) تغير الانعكاسية مقابل الطول الموجي لطلاء مضاد للانعكاس ذو ثلاث طبقات وبسمك بصري $(\lambda_o/4,\lambda_o/4,\lambda_o/4)$ مرسب على مادة السليكون عند زاوية السقوط 45° ولنمط الاستقطاب-P



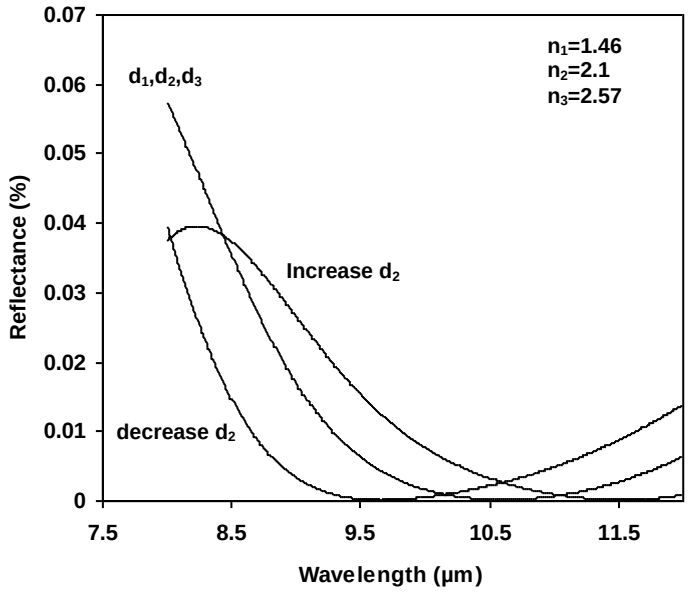
الشكل (7) تغير الانعكاسية مقابل الطول الموجي لطلاء مضاد للانعكاس ذو ثلاث طبقات وبسمك بصري $(\lambda_o/4,\lambda_o/4,\lambda_o/4)$ مرسب على مادة السليكون عند زاوية السقوط 45° ولنمط الاستقطاب-P



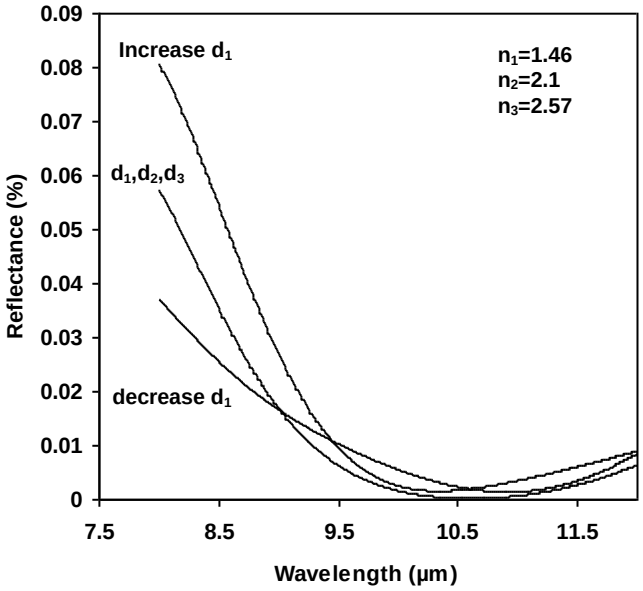
الشكل (10) تغير الانعكاسية مقابل الطول الموجي لطلاء مضاد للانعكاس ذو ثلاث طبقات وبسمك بصري ($\lambda_o/4,\lambda_o/2,\lambda_o/4$) مرسب على مادة السليكون لزوايا السقوط (0-60) ولنمط الاستقطاب-S



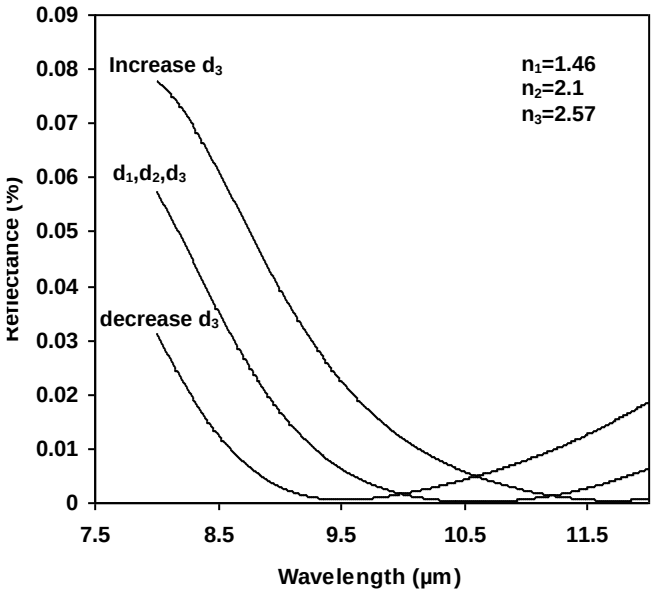
الشكل (9) تغير الانعكاسية مقابل الطول الموجي لطلاء مضاد للانعكاس ذو ثلاث طبقات وبسمك بصري ($\lambda_o/4,\lambda_o/2,\lambda_o/4$) مرسب على مادة السليكون لزوايا السقوط (0-60) ولنمط الاستقطاب-P



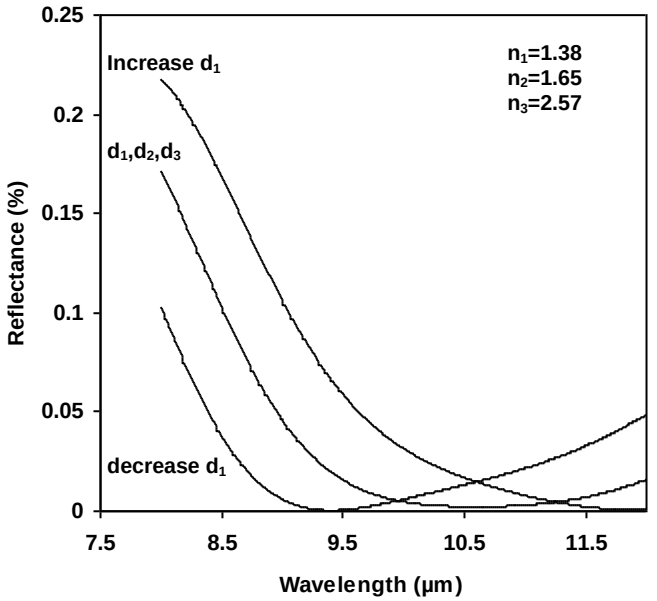
الشكل (12) تغير الانعكاسية مقابل الطول الموجي لطلاء مضاد للانعكاس ذو ثلاث طبقات وبسمك بصري ($\lambda_o/4,\lambda_o/2,\lambda_o/4$) مرسب على مادة السليكون عند زاوية السقوط 45° ولنمط الاستقطاب-P



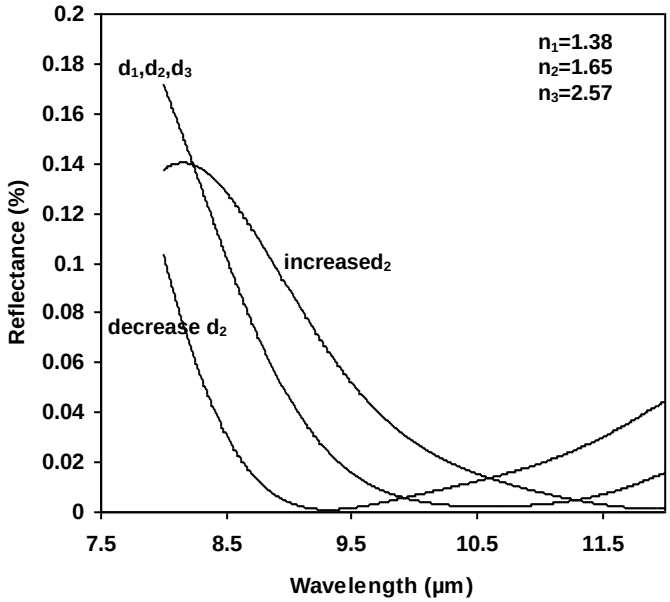
الشكل (11) تغير الانعكاسية مقابل الطول الموجي لطلاء مضاد للانعكاس ذو ثلاث طبقات وبسمك بصري ($\lambda_o/4,\lambda_o/2,\lambda_o/4$) مرسب على مادة السليكون عند زاوية السقوط 45° ولنمط الاستقطاب-P



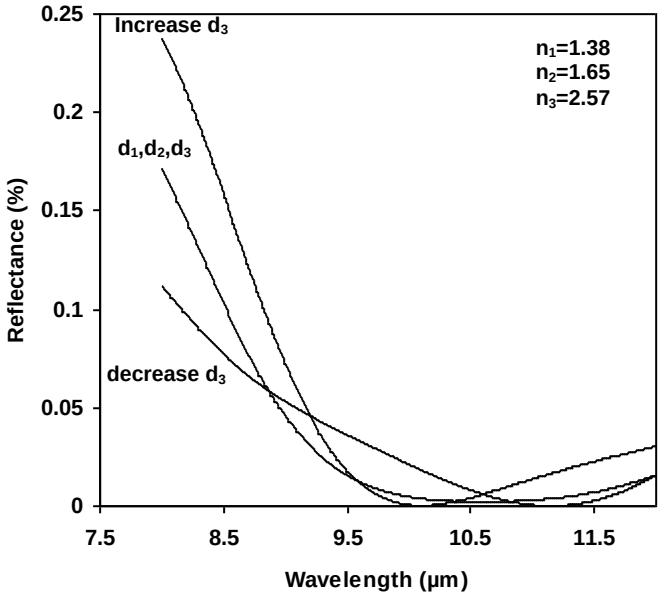
الشكل (13) تغير الانعكاسية مقابل الطول الموجي لطلاء مضاد للانعكاس ذو ثلاث طبقات وبسمك بصري ($\lambda_o/4,\lambda_o/2,\lambda_o/4$) مرسب على مادة السليكون عند زاوية السقوط 45° ولنمط الاستقطاب-P



الشكل (14) تغير الانعكاسية مقابل الطول الموجي لطلاء مضاد للانعكاس ذو ثلاث طبقات وبسمك بصري ($\lambda_o/4,\lambda_o/2,\lambda_o/4$) مرسب على مادة السليكون عند زاوية السقوط 45° ولنمط الاستقطاب-S



الشكل (15) تغير الانعكاسية مقابل الطول الموجي لطلاء مضاد للانعكاس ذو ثلاث طبقات وبسمك بصري ($\lambda_o/4,\lambda_o/2,\lambda_o/4$) مرسب على مادة السليكون عند زاوية السقوط 45° ولنمط الاستقطاب-S



الشكل (16) تغير الانعكاسية مقابل الطول الموجي لطلاء مضاد للانعكاس ذو ثلاث طبقات وبسمك بصري ($\lambda_o/4,\lambda_o/2,\lambda_o/4$) مرسب على مادة السليكون عند زاوية السقوط 45° ولنمط الاستقطاب-S

References

Allan. S.T. (2004), "Thin Films Give Optical Component a Boost", Iop Publishing Ltd.

Cox. J.T.; Hass. G. and Thelen. A.(1962), "Triple-Layer Antireflection Coatings on Glass for the Visible and Near-Infrared," J. Opt. Soc. Am. Vol. 52, PP. 965-970.

Dobrowolski. J.A. and Kemp. R.A. (1990), "Refinement of Optical Multilayer System with Different Optimization Procedures", Appl.Opt. Vol. 29, PP. 2876-2893.

Genkins. F.A. and White. HE. (1981), Fundamental of Optics (McGraw-Hill-Kogakusha, Ltd).

Hecht. E. (1998), Optics, Third Edition, (Addison-Wesley, New York).

Macleod. H.A. (1986), Thin Film Optical Filters (McGraw-Hill Company, New York).

Mitsa. A.V.; Mitsa. V.M. and Uhrin. A.M. (2005), "Modelling of Spectral Characteristics of Inhomogeneous (Gradient) Antireflection Coatings Based on Chalcogenide Glasses", Chalcogenide Letters, Vol. 2, PP. 5-7.

Musset. A. and Thelen. A. (1970), "Multilayer Antireflection Coatings in Progress in Optics", E. Wolf, ed (North-Holland Amsterdam), Vol. 18, PP. 201-237.

Nagendra. C.L. and Thutupalli. G.K.M. (1988), "Design of Three-Layer Antireflection Coating: A Generalized Approach", Appl.Opt. Vol. 27, PP. 2320-2333.

Pedrotti. L.F. and Pedrotti. L.S. (1987). Introduction to Optics (Prentice-Hall International Inc).

Pulker. H.K. (1979), "Characterization of Optical Thin Film", Appl. Opt. Vol. 18, PP. 1969-1973.

Thelen. A. (1966), "Equivalent Layers in Multilayer Filters", J.Opt.Soc.Am. Vol. 56, PP. 1533-1538.

Turbador. T. (1964), "Equireflectance Contours of Double Layer Antireflection Coatings", Opta.Acta. Vol. 11, PP. 159-170.