تصميم عواكس ثنائية غير متاثرة بظاهرة الاستقطاب

Design of Unpolarized Dual Bragg Reflectors

صفاء فليح حسن

الجامعة المستنصرية /كلية العلوم /قسم الفيزياء

الخلاصة

شمل البحث دراسة تصميم عواكس ثنائية ذات مرنانة مفردة للمنطقة الطيفية (8−13μm)وعند طول موجة التصميم (λo=10μm) لحالة السقوط المائل للشعاع غير متاثر بظاهرة الاستقطاب باستخدام نظرية المصفوفة المميزة ،بالاضافة الى دراسة تاثير زيادة عدد الطبقات على الاداء البصري للعاكس .فضلا عن معالجة المشاكل الطيفية الناجمة عن السقوط المائل للشعاع(الازاحة الجانبية في طيف الانعكاسية والتي تسبب نقصان في عرض منطقتي الانعكاسية العالية بالاضافة الى الازاحة الجانبية لموقع قمة النفاذية العالية فضلا عن قيمة النفاذية نفسها)باستخدام الطريقة التحليلية (مفهوم موائمة السمك البصري مع زيادة سمك الطبقة الخارجية).كطريقة اساسية بدلا عن الطريقة العددية التي تتطلب زيادة في عدد الطبقات،حيث لوحظ تحسنا واضح في الاداء البصري للعاكس أي زيادة عرض منطقتي الانعكاسية العالية بالاضافة الى قيمة النفاذية العظمى الفاصلة بين منطقتي الانعكاسية العظمى وعرض حزمة مرورها .كما أوضحت النتائج بان طريقة المصفوفة المميزة المعدلة لحالة السقوط المائل هي طريقة بسيطة، كفوءة وفعالة لتصميم عواكس ثنائية بالاضافة الى انه يمكن اعتبار مفهوم "المواءمة" طريقة معالجة أولية للتغيرات في طيف الانعكاسية لنمطي الاستقطاب S−,P− والتي توفر مرونة عالية في التحكم في سمك الطبقات.

Abstract

The paper studies the design of Dual Bragg Reflectors with quarter-wave dielectric stacks in the region(8-13μm)for the Oblique incident by using Characteristic matrix theory with the aim of treating the changes ensues by the changes of the incident angles (side displacement in the reflection spectrum in addition to side displacement for the position of the high transmission and the value of the transmission itself). Matching was used in the optical thickness for the filter layers in Oblique incident in relation to vertical incident. An improvement in the filter performance was registered without change in the transmission value. The possibility of increasing the transmission of the optical thickness for the outer layer of design was also studied. The study also shows that it is possible to use matching in the optical thickness with increasing the thickness of the outer layer to reach high transmission for p- and s- polarization.The results illustrate that the modified characteristic matrix method for oblique incidence of light can be considered an active, efficient and simple for design the Minus filter. Also, introducing the concept of "matching" can be considered an alternative analytical design method for different types of polarization keeping the peak transmission unaltered.

المقدمة

تعد المرشحات التداخلية الأساس في تصميم وتصنيع مايعرف بـ "مرايا براك" (Bragg Reflectors)، أو مايعرف بـ "المرايا التامة" (Perfect Mirrors)[1]، والتي تشكل الأجزاء الرئيسة للمرنانات الليزرية المايكرونية(Microcavity Lasers) ، حيث تعمل هذه المراياعلى انعكاس الضوء الساقط عليها انعكاسا" كليا" (Total Reflection) وبنمطي الاستقطاب –S و–P دون تأثره بزوايا سقوط الضوء.والتي تبدو ذا اهمية من خلال استخدامها الواسع في الاجهزة البصرية، كالتلسكوبات (Telescopes) ، ومقياس الطيف (Spectrophatometers)،مقياس التداخل فابري– بيرو (Fabry–Perot interfermeter) ، الاقمار الصناعية (Satellites) [2,3]، ومرنانة الليزر (Laser resonator cavity) [4–5]،المكونة عادة مرآتين، حيث تعمل هذه المرايا على انعكاس الضوء الساقط عليها انعكاسا" كليا" (Total Reflection) وبنمطي الاستقطاب –S و–P دون تأثره بزوايا سقوط الضوء. وفي اغلب الاحيان، ترسب مواد عازلة بشكل اغشية رقيقة على السطح العاكس للحفاظ عليه من المؤثرات الخارجية ، وتحسين الخرج الليزري (Laser gain) [6] ويعد هذا النوع من المرايا الحجر الاساس (Building block) لتصميم المرشحات التداخلية البصرية (Optical interference filters) بإنواعها المختلفة [2,7].فضلا عن ذلك السيطرة على الانبعاث المحفز الجزئي(Partial spontenous emission control) [8] في ليزرات الحالة الصلبة ذو الفجوة المايكرويه (Microcavity Laser). وكحواجز حرارية (Heat barrier) ومجمعات في الاجهزة الكهروحرارية (Collector in thermo electric devices) [9].

يتصف هذا النوع من العواكس بقابليته على امرار حزمة محددة من الأطوال الموجية وطرح(Reject) الأطوال الموجية على الجانبين، ويعتمد مبدأ عمله على ظاهرة التداخل بين الأشعة الضوئية النافذة من الترتيب متعدد الطبقات بعد أن تعاني من الانعكاسات الداخلية المتكررة بين السطوح العاكسة[10]، وتتكون المرشحات السالبة او مرشحات الانعكاسية العالية(الدراسة الحالية)من كومتين عاكستين ذات سمك بصري ربع طول موجة($\lambda o/4$) لكل طبقة تفصلهما طبقة وسطية (Spacer Layer) [2,7].وحسب الترتيب

Incident Medium *R*1 Spacer Layer *R2* Substrate… ……(SHW)

والذي يعتبر الحجر الاساس في تصميم مرشحات امرار الحزمة الضيقة ذي الفجوة المفردة (مرشحات فابري-بيرو) .حيث تشير العواكس *R* إلى التركيب متعدد الطبقات والمكونة من ترتيب متعاقب للطبقات مرتبة بشكل دوري(Periodic) وبالهيئتين $[LH]^S$ أو $[HL]^S$ وتشير *S* إلى رتبة الدورية الأساس (Order of Periodicity) [11]. أما L, H فهو السمك البصري ذو ربع طول موجة (Quarter Wave Optical Thickness) للمواد ذات معامل الانكسار العالي n_H والواطئ n_L ويتحدد بالعلاقة التالية: $n_L d_L = n_H d_H = \lambda_o/4$.

أما الطبقة الوسطية فإنها هي الأخرى مكونة من مادة عازلة إلا إن سمكها البصري هو نصف طول موجة أو مضاعفاتها($\lambda_o/2$) (Half-Wave Optical Thickness) .ويتم اختيار معامل انكسارها حسب المواصفات المطلوبة لأداء العاكس.

عند سقوط الشعاع بصورة مائلة على ترتيب متعدد الطبقات مكون من مواد عازلة، فان الانعكاسية ستتاثر بزوايا السقوط مولدة:

- ❖ انعكاسية لنمط الاستقطاب -S يرمز لها R_S.
- ❖ انعكاسية لنمط الاستقطاب -P يرمز لها R_P.
- ❖ الانعكاسية الكلية يرمز لها (R_{ave}) وتحدد بالعلاقة، $R_{ave}=(R_S+R_P)/2$.

اما الظواهر التي تحدث نتيجة السقوط المائل، فهي الازاحات الجانبية لطيف الانعكاسية R_S وR_P ، عن موقع الانعكاسية لحالة السقوط العمودي ، وهي سمة اساس لاي ترتيب متعدد الطبقات ، و سواء لكومة ذات سمك ربع طول موجة ، او لا يساوي ربع طول موجة، وستحدد الدراسة الحالية للكومة ذات سمك ربع طول موجة.

ويوصف الاداء البصري لهذا النوع من العواكس بالمعاير الاتية :

- λ_c- الطول الموجي المركزي (Central wavelength) ويقابل الانعكاسية العظمى R_{max} ويعتمد على نمط استقطاب الضوء ، ويحدد مثلا لاستقطاب -p، بالعلاقة [12]:

$$\lambda_c = \frac{1}{2}\left[\lambda^P{}_{Long}(90^o) + \lambda_{Short}(0^o)\right]$$

- حدود منطقتي الانعكاسية ويتحدد لنمط الاستقطاب -P مثلاً بالطول الموجي($\lambda_{long}(\theta o=90^o)$ و $\lambda_{short}(\theta o=0)$. اما لنمط الاستقطاب –S فان الانعكاسية تكون عالية وعلى مدى واسع من الاطوال الموجية ولا تشكل اية معضله.
- عرض حزمتي الانعكاسية العالية ويرمز لها **B**.
- قمة النفاذية العالية T_{peak} (Peak Transmittance)،او اقل قيمة للانعكاسية Rmin .
- الطول الموجي لحزمة المرور λ_o ويقابل قيمةT_{peak}.
- عرض حزمة المرور(Width of Transmission Band)أو(عرض النصف(Half-(HW) Width) أو العرض الكامل للحزمة عند منتصف القيمة لقمة النفاذ (Full- Width at Half (Maximum) (FWHM) [2,7] ويمثل الفرق في الطولين الموجيين $\Delta\lambda$ المقابلة لـ50% من قيمة النفاذية العظمى T_{peak} .

أما بخصوص الدراسات السابقة لخصت الطرائق والأساليب الحديثة المعتمدة في تصميم وتصنيع العاكس متعدد الاتجاه وحدد دراسته للمنطقة الحرارية (8-12μm) ولمدى زوايا سقوط ($0-90^o$) معتمدا على مفهوم " الكومة ذات ربع طول موجة " (quarter wav stack) إضافة إلى دراسة أساليب معالجة توسيع عرض حزمة العاكس متعدد الاتجاه [13].كما استخدمت الطرائق العددية والتحليلية (الموائمة) في تصميم مرشحات امرار الحزمة ذي الفجوة المفردة[14]. شمل البحث دراسة تصميم مرشحات الانعكاسية العالية مكونة من ترتيب متعدد الطبقات من مواد عازلة عند طول موجة التصميم ليزرCO2 ($\lambda o=10\mu m$)غير متاثر بظاهرة الاستقطاب باستخدام نظرية المصفوفة المميزة المعدلة حيث استخدمت مادتين ذات معامل انكسار عال Ge(4.2)،ومادة ذات معامل انكسار واطئ ZnS(2.4) مرتبة بشكل دوري مكونة ما يعرف بالكومة .

الاساس النظري

يستخدم الطلاء متعدد الطبقات ذات السمك ربع طول موجة (QWOT) المكون من مادة ذات معامل انكسار عالي n_H وآخر واطئ n_L والمرتبة ترتيباً متعاقباً في الحصول على انعكاسية عالية للمرايا العازلة حيث يمكن تمثيل الغشاء الرقيق رياضياً بمصفوفة مربعة (Square matrix) من نوع (2×2) تصف خواص الغشاء فقط، إذ ترتبط المجالات الكهربائية E والمغناطيسية H عند أحد السطوح مع نظيراتها عند السطح الآخر بمصفوفة ثنائية أي[7]:

$$\begin{pmatrix} E_a \\ H_a \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\delta & (i\ \sin\delta)/\eta \\ i\ \eta\sin\delta & \cos\delta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_b \\ H_b \end{pmatrix} \quad \text{.....(1)}$$

حيث

$$\delta = 2\pi\, nd\cos\theta/\lambda$$

أما η فأنها تمثل معامل الانكسار الفعال (Effective Refractive Index) وهي لنمطي الاستقطاب S- و P- كالاتي:

$$\eta S = n\cos\theta$$

$$\eta P = n/\cos\theta$$

تعرف المصفوفة المربعة (Square Matrix) نوع (2×2) من الطرف الأيمن من المعادلة (1) بالمصفوفة المميزة (Characteristic Matrix) وتضم أربع أعلومات تعود للغشاء.

يمكن التوسع بالمعادلة (1) لتصبح وصفاً رياضياً عاماً لأغشية متعددة الطبقات عددها q مرتبة حسب الشكل بالصيغة الآتية:

$$\begin{pmatrix} B \\ C \end{pmatrix} = \left[\prod_{j=1}^{q} \begin{pmatrix} \cos\delta_j & (i\sin\delta_j)/\eta_j \\ i\eta_j\sin\delta_j & \cos\delta_j \end{pmatrix} \right] \begin{pmatrix} 1 \\ \eta_{Sub} \end{pmatrix} \quad \text{.....(2)}$$

حيث تتضمن المعادلة (2) جميع المعلومات الكافية لاستخراج الانعكاسية، النفاذية لتركيب متعدد الطبقات ولحالة السقوط المائل للضوء، ويمكن تلخيصها بما ياتي :

$$R = \left(\frac{\eta_o B - C}{\eta_o B + C}\right)\left(\frac{\eta_o B - C}{\eta_o B + C}\right)^* \quad \text{.....(3)}$$

$$T = \frac{4\eta_o\ \mathrm{Re}(\eta_{sub})}{(\eta_o B + C)(\eta_o B + C)^*} \quad \text{.....(4)}$$

ان الشرط الأمثل للحصول على الانعكاسية المثلى(Optimum reflection) لحالة السقوط المائل[يسمى ايضا بشرط براك (Bragg Condition)] للكومة ذات ربع طول موجة مكونة من طبقتين معامل انكسارهما n_H و n_L فيكون السمك البصري للطبقتين عند الطول الموجي المركزي λ_C لحزمة الانعكاسية العالية مساوياً إلى $(\lambda o/2)$ ، أي [12]:

$$\frac{\lambda_C}{2} = \eta_L d_L + \eta_H d_H \quad \text{.....(5)}$$

علماً بان السمك الهندسي لكل طبقة هو ربع طول موجة :

$$d_L = \lambda_o/(4n_L)$$

$$d_H = \lambda_o/(4n_H)$$

ويكون العرض الكلي (Total Width) لمنطقة الانعكاسية العالية ($2\Delta g$) ولنمطي الاستقطاب S- و P- :

$$\Delta g_\Lambda = \frac{2}{\pi}\sin^{-1}\left[\frac{(\eta_H/\eta_L)-1}{(\eta_H/\eta_L)+1}\right]_\Lambda \quad \text{.....(6)}$$

نلاحظ من المعادلة الأخيرة انه عند السمك البصري λo/4 للطبقة الواحدة : عرض حزمة الانعكاسية العالية لحالة السقوط المائل يعتمد كلياً على النسبة $\left(n_H / n_L\right)$ ، فضلا عن زاوية سقوط الشعاع θ_o ، ويكون لنمط الاستقطاب-S :

$$\Delta g_S = \frac{2}{\pi}\sin^{-1}\left[\frac{n_H\cos\theta_H - n_L\cos\theta_L}{n_H\cos\theta_H + n_L\cos\theta_L}\right] \quad .....(7)$$

ولنمط الاستقطاب -P :

$$\Delta g_P = \frac{2}{\pi}\sin^{-1}\left[\frac{n_H\sec\theta_H - n_L\sec\theta_L}{n_H\sec\theta_H + n_L\sec\theta_L}\right] \quad .....(8)$$

ان عرض حزمة الانعكاسية العالية يتناقص لنمط الاستقطاب -P بشكل كبير بازدياد زاوية السقوط مقارنة مع نمط الاستقطاب -S. معتمداً على السلوك الرياضي للدالتين cosθ وsecθ. تحدد الأطوال الموجية لحافات العواكس متعددة الاتجاه بالعلاقة:

$$\lambda_E = \lambda_C\left[1 \mp \Delta g\right].....(9)$$

ونظراً لكون حزمة الانعكاسية العالية لنمط الاستقطاب -S عريضة مقارنة بالانعكاسية لنمط الانعكاسية -P ، ولذلك فان المشكلة سترافق نمط الاستقطاب -P من دون نمط استقطاب -S,يمكن التعبير عن الأطوال الموجية القصيرة λShort والطويلة λLong للعاكس متعددة الاتجاه على نمطين:

$$\lambda_{Long} = \left(\lambda_C\right)_{90^o}\left[1 + \left(\Delta g\right)_{90^o}\right].....(10)$$

$$\lambda_{Short} = \left(\lambda_C\right)_{0^o}\left[1 - \left(\Delta g\right)_{0^o}\right].....(11)$$

وبذلك يمكن التعبير عن عرض حزمة الانعكاسية للعاكس متعدد الاتجاه بدلالة λC و λomi اوΔλ :

$$B = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_C}.....(12)$$

بالتعويض عن قيمة λC و λomi اوΔλ :

$$B = \frac{\left(\lambda_{Long} - \lambda_{Short}\right)}{\frac{1}{2}\left(\lambda_{Long} + \lambda_{Short}\right)}.....(13)$$

النتائج والمناقشة

يتطلب تصميم عواكس ثنائية متعددة الاتجاه لتعمل ضمن المنطقة الطيفية (8−13μm)المواصفات الاتية

- منطقتي انعكاسية عالية تصل Rmax~100% للمناطق الطيفية

  Rmax~100%(8−10μm)

  Rmax~100%(10−13μm)
- قمة نفاذية عالية تفصل منطقتي الانعكاسية العالية تصل Tmax~100% عند طول موجة التصميم المختار.
- عرض حزمة مرور ضيقة تصل إلى 0.05 μm~ أو اقل من ذلك.
- التحسس الضعيف لطيف النفاذية للتغيرات الناتجة عن السقوط المائل للضوء.

وللوصول االى هذه المتطلبات تم اعتماد ما ياتي :

- مبدا تصميم المرشحات التداخلية ذو الفجوة المفردة كاساس في تصميم هذا النوع من المرشحات.
- طبقة وسطية ذات معامل انكسار واطئ، لغرض تحقق اقل إزاحة جانبية في طيف النفاذية نتيجة السقوط المائل للضوء.
- اقل عدد من الطبقات يحقق انعكاسية عالية وبسمك بصري ربع طول موجة لكل طبقة.
- اختيار مادتين عازلتين تحققان نسبة عالية للكمية (nH/nL).

بناءًعلى ما تقدم سندرس التصميم لحالة السقوط العمودي اولا مع الاخذ بعين الاعتبار تاثير عدد الطبقات وترتيبها ضمن التصميم على قيمة وعرض منطقتي الانعكاسية العالية بالاضافة الى قيمة النفاذية العظمى وعرض حزمة مرورها لذا تم اعتماد التصميم

$$\text{Sub} \mid [HL]^s\ 2L\ [LH]^s\ L \mid \text{Exit}$$

اذ تمثل S رتبة الدورية الاساس (عدد الطبقات)للعاكس .L,H تمثل السمك البصري بربع طول موجة للمادة ذات معامل الانكسار العالي والواطئ على التوالي.حيث حددت (S=2,3,4,5,6).يوضح الشكل (1) تاثير زيادة رتبة الدورية الاساس على الاداء البصري للمرشح. حيث يلاحظ انه بزيادة رتبة الدورية الاساس أي عدد الطبقات يعمل على زيادة قيمة وعرض حزمة الانعكاسية لمنطقة الطرح (أومنطقة الانعكاسية العالية) والتي تكون اقل تحسساً للتغيرات في زاوية السقوط.كما يلاحظ ان عرض منطقة النصف للنفاذية العظمى(FWHM) تقل بزيادة رتبة الدورية الاساس لكن هذا التغير في طيف الانعكاسية يزول عندما يكون عدد الطبقات كبير جدا.من دراسة الشكل(1) نجد ان التصميم

$$G \mid [LH]^4\ \ 2L\ \ [HL]^4\ \ L \mid G$$

يحقق المواصفات المطلوبة

Rmax (Left) ~100%(8.0−10μm)

Rmax (Right)~100%(10−13μm)

Tmax ~ 97% or Rmin~0.03 (at λo=10μm)

FWHM ~ 0.02 μm

الشكل (2)يوضح طيف الانعكاسية للتصميم المقترح لحالة السقوط العمودي للشعاع حيث يلاحظ انه يحقق المواصفات الطيفية اعلاه.

التصميم المقترح والعوامل المؤثرة على طيف الانعكاسية

بعد أن تم اختيار التصميم والموضح في الشكل (2)، ندرس تأثير تغير زاويا السقوط (0o−90o) عند طول موجة التصميم (λo=10.0 μm) على الاداء البصري للعاكس الثنائي الاشكال (3,4,5)توضح تاثير تغير زوايا السقوط على طيف الانعكاسية اذ يمكن ان نلخص هذا التاثير بالنقاط التالية :

- ظهور سلوكين منفصلين للانعكاسية R_S وR_p ، حيث تظهر R_p اوطىء منR_s تفسره المعادلة(3).
- عند زوايا السقوط العمودي والقريب منه (لغاية 10^o~) فان المرشح لا يتحسس لنمطي الاستقطاب P-, S-.
- تكون عرض حزمة الانعكاسية العالية لنمط الاستقطاب -S اكبر دائما من Rp ويزداد بازدياد زاوية السقوط على العكس من Rp حيث يقل عرض الحزمة بشكل واضح مع زيادة زوايا السقوط تفسره المعادلة(5).

- نقصان في القيمة العظمى لنفاذية الاستقطاب -P مع نقصان اقل في نفاذية -S عند زيادة زوايا السقوط.
- يزاح طيف الانعكاسية Rs وRp باتجاه الاطوال الموجية القصيرة ويزداد مقدار الازاحة بازدياد زوايا السقوط مما يوثر على الطول الموجي المركزي λ_C وعرض منطقة الانعكاسية كما موضحة في الاشكال (3,4,5) وتفسره المعادلة(6). الجدول (1) يوضح تاثير تغير زوايا السقوط على طيف الانعكاسية للعاكس.

ويمكن ان نعزي جميع هذه الظواهر الى ان التغير الحاصل في الازاحة الجانبية لانعكاسية R_s وR_p ، يعتمد اساسا على السمك البصري للطبقات ، الذي بدوره يعتمد على معامل الانكسار الفعال الذي يتغير بتغير زوايا السقوط ونمط الاستقطاب، فعندما تزداد زاوية السقوط ، يبدو الغشاء بسمك بصري اقل ظاهريا (Thinner) . اما المعايير الاخرى كـ λ_C و B فانها واضحة من العلاقات (5) و(12).

معالجة التاثيرات الناجمة عن التغير في زوايا السقوط

تتطلب دراسة السقوط المائل للشعاع عن العواكس الثنائية متعددة الاتجاه تحديد التغيرات في قيم الانعكاسية العالية، مقدار الازاحة الجانبية وعرض حزمتي الانعكاسية العالية لنمط الاستقطاب -p .بالاضافة قيم النفاذية العظمى، وعرض حزمة المرور لنمطي الاستقطاب -P, S.حيث تم معالجة هذه التاثيرات باستخدام (الطرق التحليلية) اسلوب الموائمة "مواءمة في السمك البصري لحالة السقوط المائل نسبة إلى السقوط العمودي" فضلا عن الزيادة في سمك الطبقة الخارجية دون اسخدام الطرائق العددية التي تتطلب زيادة في عدد الطبقات .الشكل (6) يوضح تاثير هذا المفهوم على طيف الانعكاسية لنمط الاستقطاب -p مقارنة مع السقوط العمودي. الملاحظ انه تم ازالة الازاحة الجانبية في طيف الانعكاسية وارجاعه الى نفس موقع الانعكاسية العالية فضلا عن توسع ملحوظ في عرض الانعكاسية. بالاضافة الى انه تم إزالة الإزاحة الجانبية في طيف النفاذية لنمطي الاستقطاب -P, S عن بعضهما وعن موقع الحزمة الأساسي، أي موقع قمة النفاذية لنمطي الاستقطاب $\lambda o=10.0\mu m$ إضافة لذلك فقد تم التخلص من حالة اللاتناظر في قيمتي النفاذية للنمطين دون ان يؤثر على قيمة النفاذية العالية كما موضحة في الشكل (7) التي يبين تاثير مفهوم الموائمة على طيف الانعكاسية لنمطي الاستقطاب -S و-P مقارنة مع السقوط العمودي.ان هذا المفهوم قد وفر مرونة في التحكم بالسمك البصري للطبقات، أي التحكم بالاطوال الموجية التي عندها يتم الحصول على تداخلاً بناءً للأشعة المنعكسة وتداخلاً أتلافياً تاما" للأشعة النافذة عند طول موجه التصميم. والجدول (2) يوضح السمك البصري المقابل لزاوية السقوط باعتماد مفهوم " الموائمة ".يتضح مما سبق ان استخدام مفهوم الموائمة يعالج مشكلة الازاحة الجانبية في طيف الانعكاسية فقط دون ان يؤثر على قيمة النفاذية العظمى التي تفصل بين منطقتي الانعكاسية وبالاخص لزوايا سقوط عالية. لمعالجة قيمة طيف النفاذية فقد تم استخدام تاثير سمك الطبقة الخارجية بعد اعتماد مفهوم الموائمة في سمك الطبقات ونظرا لصعوبة معالجة طيف النفاذية العالية عند زوايا سقوط عالية فقد تم اختيار زاوية سقوط للشعاع 80^o حيث اجري تغير في السمك البصري للطبقة الخارجية وضمن المدى (من $\lambda o/4$ الى $\lambda o/2$) بعد ادخال مفهوم الموائمة في سمك الطبقات لزاوية سقوط للاشعاع 80^o اي بعد اعتماد التصميم

$$G\,|\,[1.111H1.042L]^3\ \ 2.084L\ \ [1.042L1.111H]^3\ 1.042L\,|\,G$$

كتصميم ابتدائي لبدىء المعالجة بزيادة السمك البصري للطبقة الخارجية حيث يلاحظ تحسن ملحوظ في قيمة وعرض منطقتي الانعكاسية العالية بالاضافة الى قيمة النفاذية العظمى وعرض حزمة مرورها لنمطي الاستقطاب عند التصميم النهائي ادناه كما موضح في الشكلين (8,9)

$$G\,|\,[1.111H1.042L]^3\ \ 2.084L\ \ [1.042L1.111H]^3\ \ 1.642L\,|\,G$$

الاستنتاجات

من خلال دراسة تصميم العواكس الثنائية متعددة الاتجاه يمكن ان نستنتج ان إن نظرية المصفوفة المميزةالمعدلة نظرية شاملة لتصميم عواكس احادية الفجوة للمنطقة الطيفية تحت الدراسة و لحالة السقوط العمودي والمائل للشعاع.حيث يلاحظ انه بالامكان معالجة التاثيرات الناجمة عن السقوط المائل للشعاع باستخدام مفهوم "مواءمة الطبقات" الذي يمكن اعتماده كطريقة تحليلية يعالج المشاكل التي تظهر نتيجة السقوط المائل للشعاع دون تأثيره على الشكل العام وقيمة قمة النفاذية العظمى.كما يمكن ان نستنتج ان عرض منطقتي الانعكاسية العالية للمرشح تتأثر بشكل واضح بتغير السمك البصري للطبقة الخارجية حيث أن الاختيار الامثل له يؤثر على قيمة وموقع الانعكاسية بالاضافة الى قيمة النفاذية العظمى الفاصلة بين منطقتي الانعكاسية العظمى اذ يمكن اعتبار تغير السمك البصري للطبقة الخارجية مع استخدام مفهوم الموائمة في سمك الطبقات كطريقة بديلة عن الطرائق العددية التي تتطلب زيادة في عدد الطبقات.فضلا عن ذلك فان رتبة الدورية الأساس s تلعب دورا رئيسا في تحديد انحدار منطقة الانعكاسية للعاكس . أن هذه النتيجة يمكن اعتبارها أساسية في تصميم مرشح فابري–بيرو ذو حزمة ضيقة لنمطي الاستقطاب ولحالة السقوط العمودي والمائل للشعاع .

References

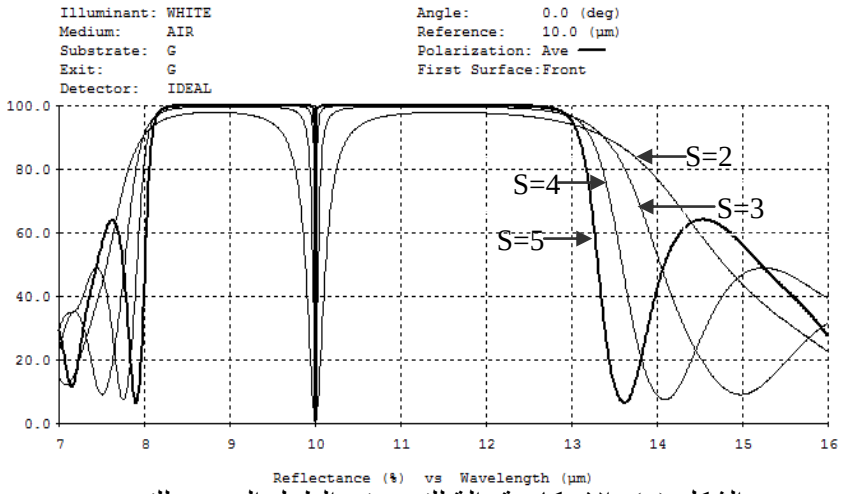
1. A. T. M. Carniglia, K. Charles, ‘‘Perfect mirrors from a coating designers point of view’’, SPIE 3902 , 68-72, (2000).
2. W. G. Driscoll and W. Vaughan, "*Handbook of Optics*", (Mc Graw –Hill, New York, 1978).
3. A. Marechal and G. Coartes, *Space Optics* (Gordon and Breach science publishers Ltd. London, 1974).
4. A. M. Ledeger, "Inhomogeneous interface laser mirror coatings ", Appl. Opt.18,2979-2989, (1979).
5. R. Balhorn, H.Kunzmann and F. Lebowsky, "Frequency stabilization of internal mirror He-Ne laser ", Appl. Opt.11, 742-744,(1972).
6. F. T. Arecehi, E. O. Schulz, Z. Dubois," *laser Handbook*", (Vol.1, North-Holland, Amesterdam, 1972).
7. H. A. Macleod, " Thin-Film Optical Filters ", Mc Graw–Hill, New–York, 3rd ed.(2001).
8. D. N. Chigrin, A. V. Lavrinenkeo, D. A. Yarotsky, S. V, Gaponenko , "Observation of total Omnidirectional reflection from a one-dimensional dielectric Lattice",Appl.Phys.A 68,25-28(1999) .
9. Y.Fink,J.N.Winn,S.Fan,C.Chen,J.Michel,J.D.Joannopoulos, and E.L.Thomas."A dielectric omnidirectional reflectors" Science 282,1679-1682 (1998) .
10. M. Born and E. Wolf, Principle of Optics, 6th ed. (Pergamon, London, 1986).
11. A. F. Turner and Ph. W. Baumeister, ‘‘Multilayer mirror with reflectance over an extended spectral region’’, Appl. Opt. 5, 69-76 (1966).
12. J W.H.Southwell,"Omnidirection mirror design with quarter-wave dielectric stacks",Appl.Opt.38,5464-5435(1999).
13. S. F. Hassan, " Design of omnidirectional Reflectors " M.Sc. thesis, Al–Mustansiriya University (2005).
14. J. F. Mohamed, Design of Fabry-Perot filter at oblique incident of light, M. Sc. thesis, Al-Mustansiryah University (2005).

الجدول (1) يوضح تاثير تغير زوايا السقوط على طيف الانعكاسية للعاكس الثنائي.

Rmax(Reght)				**Rmax(Left)**				
B=Δλ/λc %	Δλμm	λcμm	Reflection range(P-) μm	B=Δλ/λc %	Δλμm	λcμm	Reflection range(P-) μm	Θ
24.8	2.84	11.42	9.85-12.84	20.7	1.85	8.92	8.09-9.85	20
21.1	2.36	11.18	9.68-12.36	17.4	1.53	8.76	7.95-9.53	45
18.7	2.07	11.03	9.51-12.07	15.0	1.3	8.65	7.82-9.3	60
18.1	1.99	10.99	9.42-11.99	11.98	1.02	8.51	7.65-9.02	80

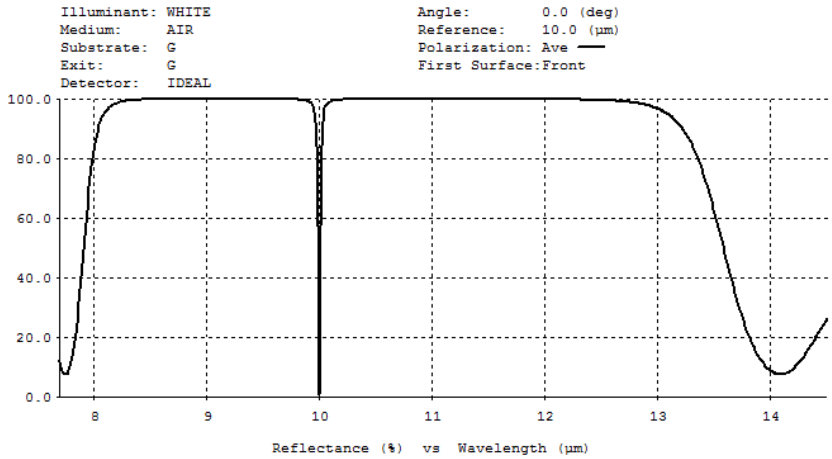
جدول (2)السمك البصري المقابل لزاويا السقوط باعتماد مفهوم ″المواءمة"(الدراسة الحالية)

الشكل **Figure**	السمك البصري Optical Thickness	زاوية السقوط Angle of Incidence
(5)	1.004 L,1.021 H	20^o
(6)	1.012 L, 1.057H	45^o
(7)	1.021L,1.085H	60^o
(8)	1.042L,1.111 H	80^o



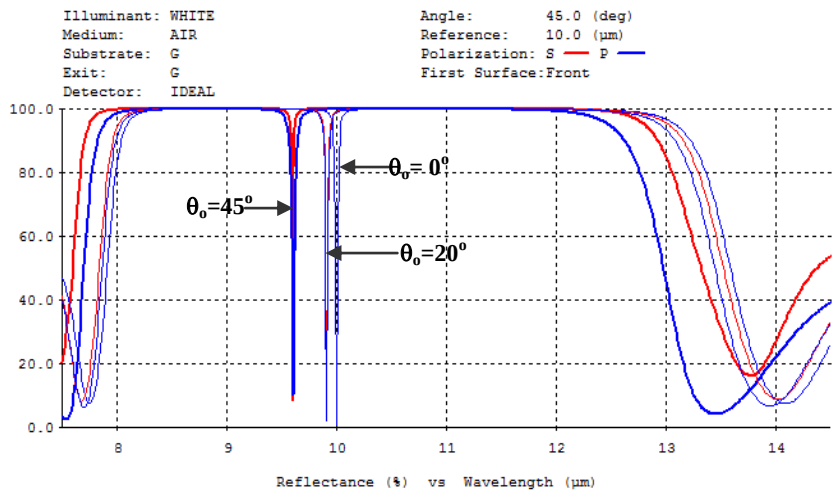
الشكل (1): الانعكاسية دالة للتغير في الطول الموجي للتصميم:

$S=2, 3, 4, 5$ لقيم $G\,|\,[HL]^S\ 2L\ [LH]^S L\,|\,G$



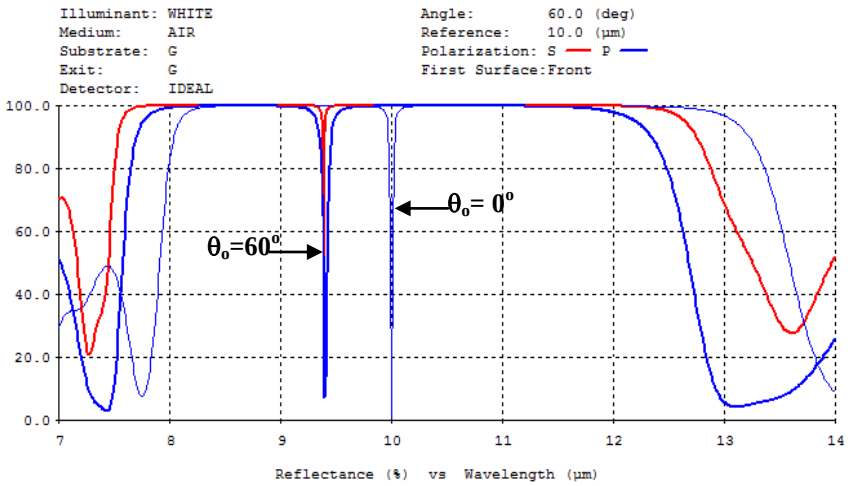
شكل(2) الانعكاسية دالة للتغير في للطـول الموجـي للتصميـم

لحالة السقوط العمودي $G\,|\,[HL]^4\ 2L\ [LH]^4 L\,|\,G$

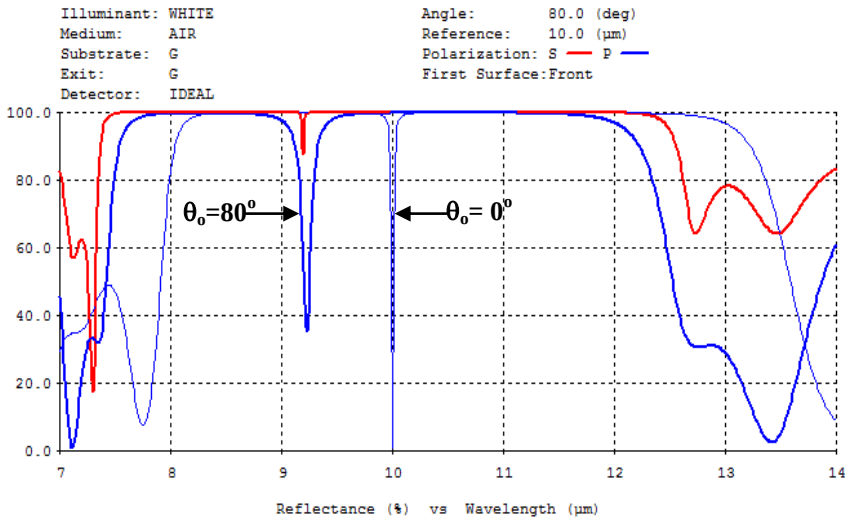


شكل(3) تأثير زوايا السقوط(^{o} 45-0) على طيف الانعكاسية للعاكس للتصميم

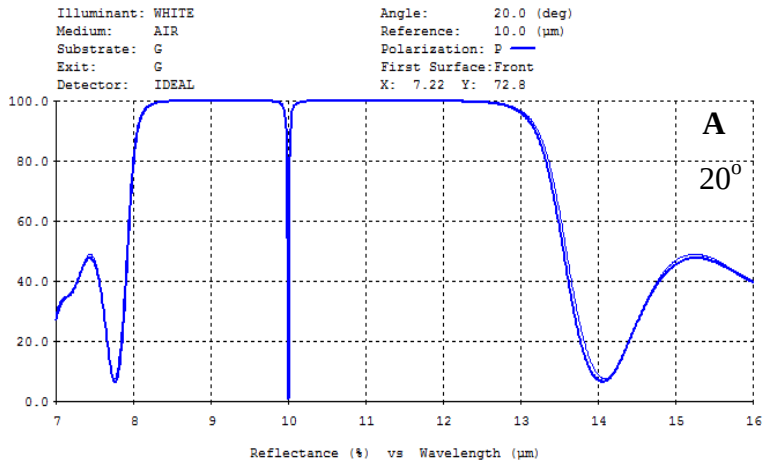
(مقارنة مع السقوط العمودي) $G\,|\,[HL]^4\ 2L\ [LH]^4 L\,|\,G$

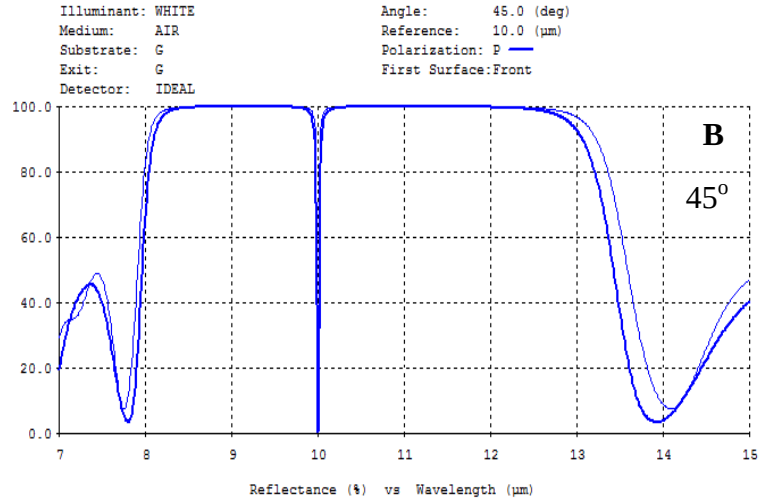


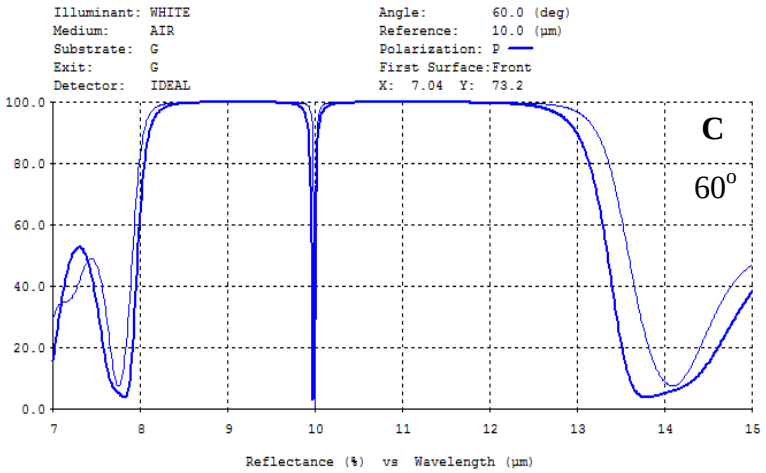
شكل(4) تاثير زاوية السقوط ($\Theta o=60^o$) على طيف الانعكاسية للتصميم
$G\,|\,[HL]^4\ 2L\ [LH]^4L\,|\,G$ مقارنة مع السقوط العمودي

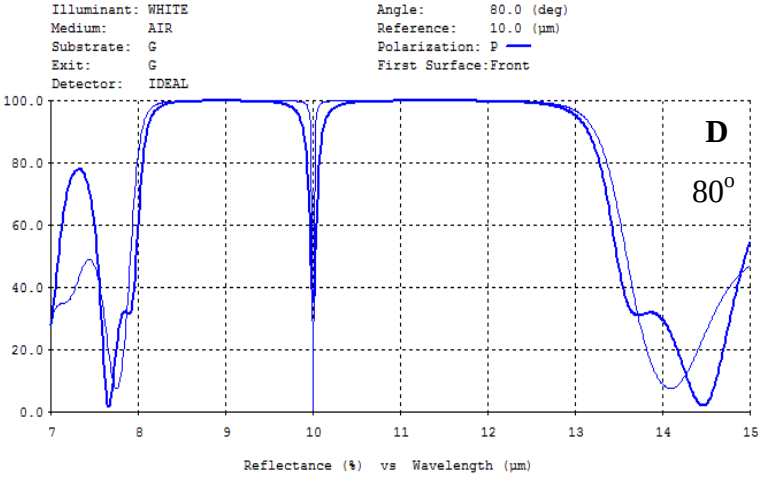


شكل(5) تاثير زاوية السقوط ($\Theta o=80^o$)على طيف الانعكاسية للتصميم
$G\,|\,[HL]^4\ 2L\ [LH]^4L\,|\,G$ ،مقارنة مع السقوط العمودي



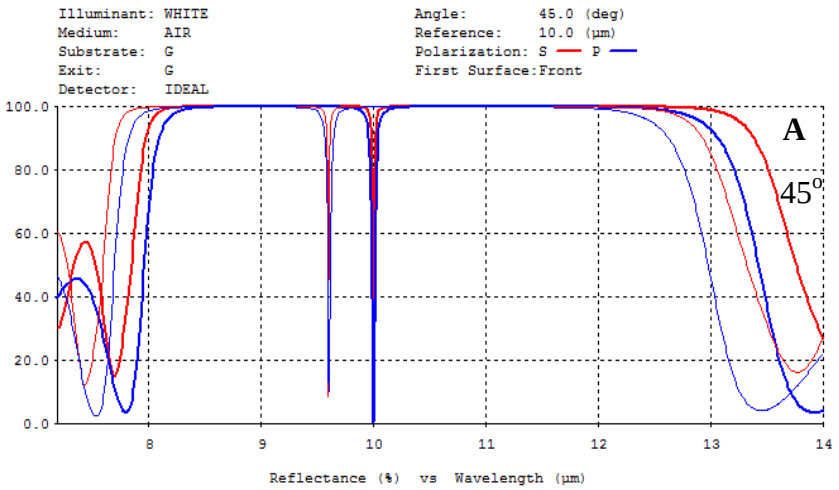


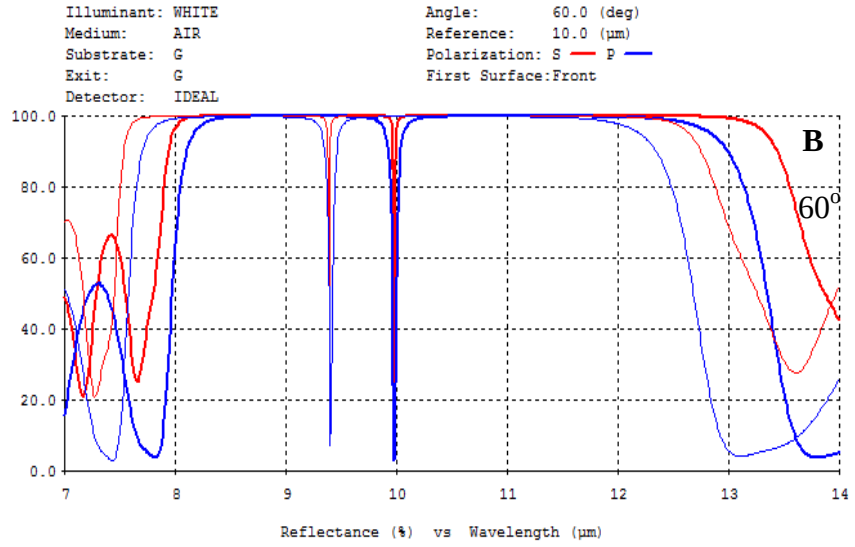


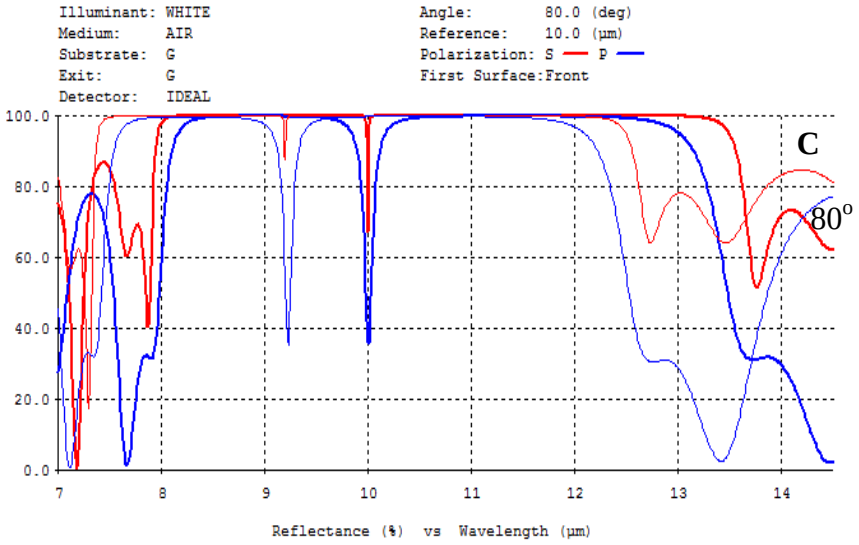


شكل (6) الانعكاسية R_p دالة لتغير في الطول الموجي للتصميم G | $[HL]^4$ 2L $[LH]^4$L | G مقارنة مع السقوط العمودي (المنحني الفاتح) بعد اجراء عملية الموائمة،عند زوايا السقوط:

Θo=80°(D) Θo=60° (C) Θo=45°(B) Θo=20° (A)



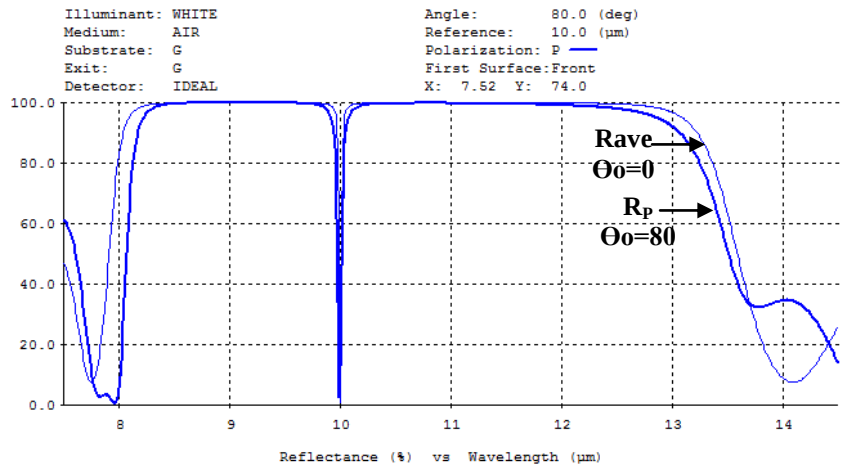




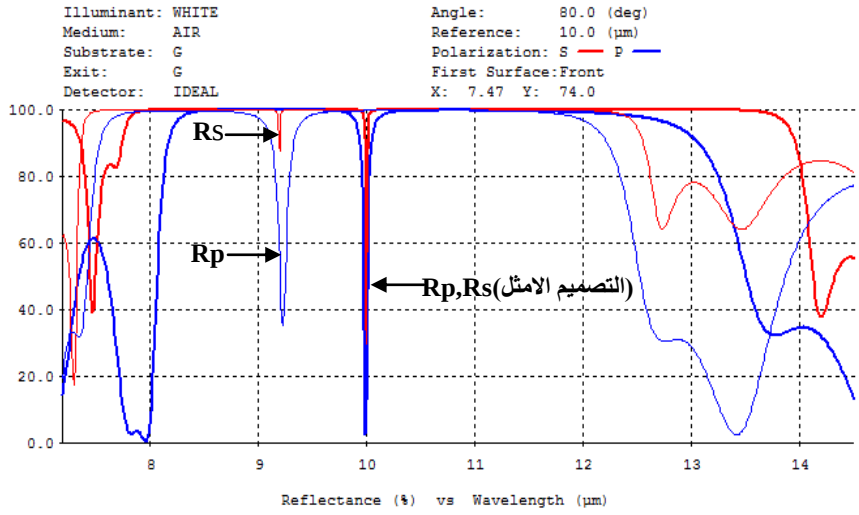
شكل(7) طيف الانعكاسية لنمطي الاستقطاب Rs و Rp للعاكس ذي التصميم: $G\,|\,[HL]^4\ 2L\ [LH]^4L\,|\,G$

قبل الموائمة (المنحني الفاتح)، بعد الموائمة (المنحني الغامق)،لزوايا السقوط

$\Theta o=80^o$ (C) $\Theta o=60^o$ (B) $\Theta o=45^o$ (A)



شكل(8) الانعكاسية Rp دالة للتغير في الطول الموجي لزاوية سقوط 80^o مقارنة مع السقوط العمودي للشعاع(التصميم الأمثل للعاكس المقترح)،(المنحني الفاتح) تصميم العاكس لحالة السقوط العمودي، (المنحني الغامق) التصميم الأمثل للعاكس(زيادة في سمك الطبقة الخارجية مع موائمة سمك الطبقات)



شكل(9) الانعكاسية دالة للتغير في الطول الموجي التصميم الأمثل للعاكس المقترح لزاوية السقوط 80^o (المنحني على اليسار) تصميم العاكس قبل المواءمة. (المنحني على اليمين) التصميم الأمثل للعاكس (زيادة في سمك الطبقة الخارجية مع موائمة سمك الطبقات)