توسيع عرض حزمة الانعكاسية العالية للمنطقة تحت الحمراء البعيدة: (1)

هيفاء غازي رشيد *

تاريخ قبول النشر ٢٠٠٤/٥/١٥

الخلاصة

تم توسيع عرض الانعكاسية العالية للمنطقة الطيفية تحت الحمراء البعيدة (8 -14 μ m) معتمدين على:(1) ترتيب كومتين متناظرتين نوع ^{S} [0.5HL0.5H] و^{S} [0.5LH0.5L] والتحكم الدقيق بقيم رتبة الدورية الاساس (S) ، (2) تراكب الكومتين المتناظرتين(فقرة 1) والتحكم الدقيق بطول موجة التصميم لكل كومة لغرض ازالة النهاية الصغرى للانعكاسية التي تظهر في الطيف الممتد للانعكاسية العالية. استندت الدراسة على نظرية المصفوفة المميزة المعدلة ولسقوط للضوء قريب من العمودي على ترتيب متعدد الطبقات من مواد عازلة وبشكل اغشية رقيقة متجانسة ومتماثلة الخواص. اوضحت النتائج ، ان ترتيب الكومتين معتمداعلى قيم (S) يودي الى توسيع منطقة الانعكاسية العالية تارة وظهور نهاية صغرى للانعكاسية تارة اخرى والتي تصلح كمرشح امرار حزمة ضيقة . اما تراكب الكومتين والاختيار الدقيق لطول موجة التصميم لكل كومة و ادخال طبقة وسطية بين الكومتين من شانه ان يلغي ظهور النهاية الصغرى جاعلا منطقة الانعكاسية العالية ممتدة على مدى واسع من الاطوال الموجية.

المقدمة

تتصف المرايا ذات الانعكاسية العالية والمصنعة من مواد عازلة (All-dielectric mirrors) بعرض حزمة محددة (Limited bandwidth) مرتبة بشكل كومة ذات ربع طول موجة (Quarter-wave stack)، اي ، [1,2]

Air $[HL]^{S}$ Substrate

حيث تشير S الى رتبة الدورية الاساس (Order of periodicity) ، [HL]الدورية الاساس للكومة (Basic period of stack) . H ، L السمك البصري بربع طول موجة للطبقات ذات معامل انكسار العالي n_H و الواطى n_L ويرتبط بسمك الطور δ (Phase thickness) بالعلاقة [1,2] :

$$\delta_H = \delta_L = \frac{2\pi}{\lambda} n_L d_L = \frac{2\pi}{\lambda} n_H d_L$$

d_H، d_L السمك الهندسي للطبقتين(Geometrical thickness) ذات معامل الانكسار العالي والواطى على التوالى. ويحدد عرض الانعكاسية العالية بالعلاقة [1] :

$$\Delta g = \frac{2}{m\pi} \sin^{-1}\left[\frac{n_H/n_L - 1}{n_H/n_L + 1}\right]$$

g= λ_0 / λ العدد الموجي النسبي (Relative wave number) ، m – رتبة التداخل.درست مشكلة توسيع عرض الحزمة بطرائق شتى ، منها الطرائق التحليلية [2-6] واخرى عددية [6] . ان اغلب هذه الطرائق تعتمد على التغير الطفيف في السمك البصري بدلا من التغير في معاملات انكسار المواد نظرا لمحدودية توفير المواد ضمن المنطقة الطيفية المطلوبة.

الطرائق التحليلية

اقترح الباحثان Penslein & Stendel [3] (اول المشتغلين في معالجة عرض الحزمة) تغير السمك في الطبقات بشكل متوالية توافقية

* دكتوراه-أستاذ مساعد-قسم الفيزياء-كلية التربية-الجامعة المستنصرية

(Harmonic progression). امـا Liddell & Heaven [4] فقد اعتمدوا نفس الطريقـة الا ان سمك الطبقات يتغير بشكل متوالية هندسية واخرى عدديـة (Arithmetic or geometric progression) واقتصـرت الدراسـة علـى الزجاج الاعتيادي كاساس رسبت عليـه مـادتي MgF_2 و ZnS كطبقـات متعاقبـة . اوضـح Abele's [5] بان الشرط الضـروري والكـافي (Necessary & sufficient condition) لظهور الانعكاسية العالية للكومة ذات سمك ربـع طول موجة لكل طبقة:

M هي مصفوفـة الدورية الاساس لكومـة.امـا

$$\text{Trace } M \geq 2$$

الدراسة المقدمة من قبل الباحثين (Baumeister & Turner) [2] ، فانها تعد من الدراسـات ذات الاهمية والشمولية ، فقد اعتمدوا طريقتين لتوسـيع حزمـة الانعكاسية العاليـة:

(١) ترتيب الكومـات ذات الانعكاسية العالية (Contiguous of high reflectance stacks)

وهما على نوعين:

(a) ترتيب كومتين او اكثر على نفس الارضيـة الاساس والتحكم بطول موجة التصميم لكل كومة،

(b) ترتيب كومتين او اكثر على نفس الارضيـة الاساس وبسمك لايساوي ربع طول موجة.

(2) تراكب الكومات ذات الانعكاسية العالية (Overlapping of high reflectance stacks) والتحكم الدقيق لطول موجـة التصميـم لكل كومة لغرض ازالة النهاية الصغرى العميقـة للانعكاسية (Deep minimum reflectance) التي تظهر في الطيف الممتد للانعكاسية العاليـة. اعتمدت الحسابات على نظريتي المصفوفة (Charactristic matrix theory)[1,7] ونظرية الطبقة المكافئة [8,9] مستخدمين الزجـاج الاعتيادي و BaF_2 كارضيات اساس لمنطقتـي الطيف المرئي وتحت الحمراء وعلى التوالي.

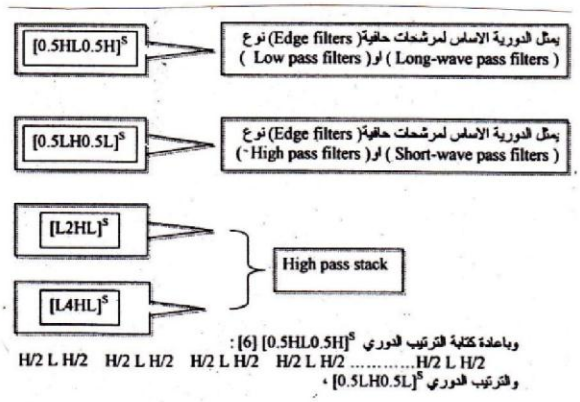
الطرائق العددية

اجرت الباحثـة (Rashid) [6] دراسـة تفصيلية للتصميم الامثل للمرايا ذات الانعكاسـية العالية وعالجت مشكلة عرض الحزمـة المحـدد الذي يرافق عادة المرايا المكونة من مواد عازلـة اضافة الى دراسة كيفية تسطح(Flatness) قمـة الانعكاسية العالية باعتماد الطرائق العددية المثلى.

تهدف الدراسة الحاليـة الـى توسـيع حزمـة الانعكاسية العالية المكونة من مواد عازلة باعتمـاد طريقة (Baumeister & Turner) [2,10,11] و الربط بين فقرة (a-1) و(2) مستخدما نظرية المصفوفة المميزة المعدلة [6].

النموذج التحليلـي

لغرض توسيع حزمـة الانعكاسية العاليـة ، فاننـا اعتمدنـا الكومـة ذات الـترتيب (pqp) وللانواع :



L/2 H L/2 L/2 H L/2 L/2 H L/2 L/2 H L/2 .....L/2 H L/2

وبجمع الطبقات ذات السمك L/2 او H/2 ،أي ،

H/2 LH LH LH LH ..... HL HL H/2
L/2 HL HL HL HL ..... LH LH H/2 .....(1)

وبدلالة الدورية المتناظرة (Symmetrical period) ، فان الترتيب (1) يمكن التعبير عنه،

$(0.5HL0.5H)^S \longrightarrow H/2\,[LH]^{S-1}\,L\,H/2$
$(0.5LH0.5L)^S \longrightarrow L/2\,[HL]^{S-1}\,H\,L/2$ .....(2)

لذا فانه يمكن التعبير بشكل عام عن الترتيب (2) بالصيغة التالية [6] :

$$[0.5A\ B\ 0.5A]^S = 0.5A\,[(BA)^{S-1}\ B]\ 0.5A$$

وبمعاملات انكسار:

$n_A = n_H$ or n_L
$n_B = n_L$ or n_H

النتائج والمناقشة

تم دراسة توسيع حزمة الانعكاسية العاليـة للمنطقة الطيفية (8 -14μm) معتمديـن علـى نظرية المصفوفة المميزة المعدلة لحالة السـقوط القريب من العمودي وعلى المراحـل التالية:

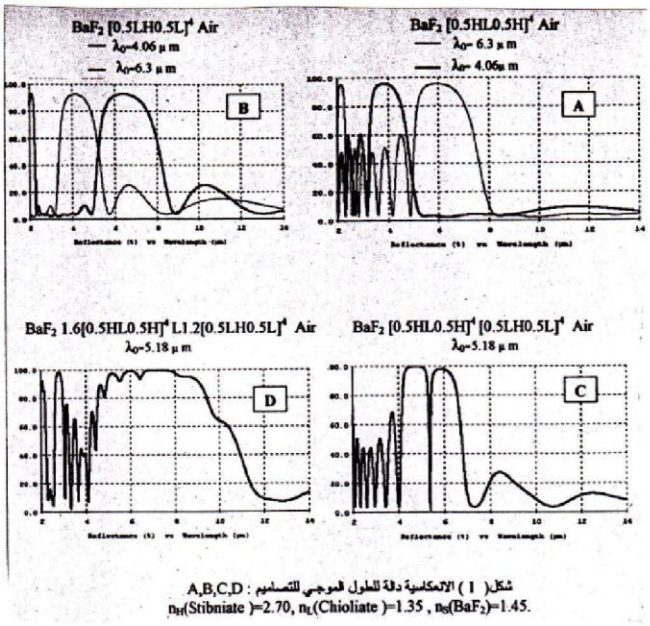
اولا : مقارنة النتائج النظرية للدراسة الحالية مـع النتائج العملية للمصدر[2] كمـا موضـح فـي الشكل (1A-B)،والجدولين (1,2) يلخصـان هـذه النتـائج. ان هـاذين الشـكلين يصلحـان كمرشحات حافة لامرار الاطوال الموجية الطويلة والقصيرة وعلى التوالي وان الاختيار الامثل لـ λ_0 يمكننا من ازاحة منطقـة النفاذيـة العاليـة وحسب المنطقة الطيفية المطلوبـة. امـا لمـادة الجرمانيوم كاساس [(شكل(2 A-B)]، فعند استخدام ترتيب الكومتين [جدول (1و2)] فاننـا

نحصل على مرشحات حافيـــة تسـمح بـامرار الاطوال الوجية القصيرة فقط ويفضل التصميم (B – 2)بدلا عن (A - 2) بعد ازالـــة القمـم الثانوية في منطقة النفاذية العالية.

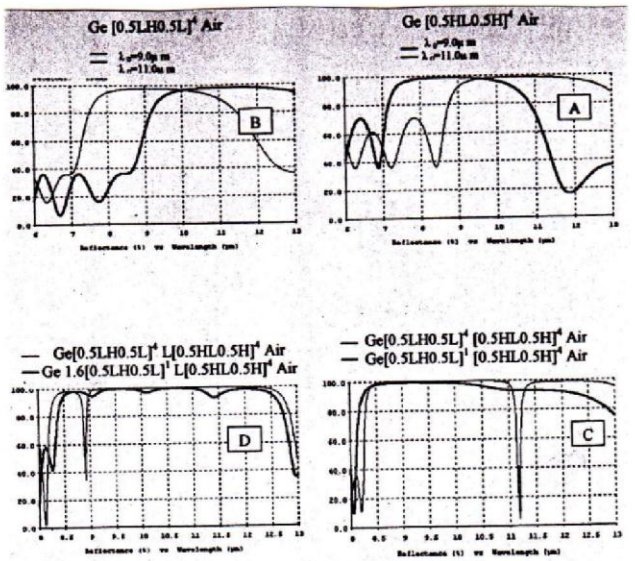
ثانيا : ترتيب كومتين متنـــاظرين مـن نوعيـن مختلفتيـن ترسـب علـى مـادتي BaF_2 وGe كاساس ويتم التحكم الدقيق بطول موجة التصميم λ_0 ، كما موضح في الشكل (1&2-C) حيـث نلاحظ مايلي:

- ان ظهور النهاية الصغرى فـي طيـف الانعكاسية العالية يصلـح كمرشـح امـرار حزمة ضيقة ويظهر لمادة الجرمانيوم عندمـا تتبادل مواقـع الكومتيـن مقارنـة بحالـة BaF_2وهو افضل من تصميم مرشح فـابري – بيرو [6] المستخدم عادة في النـوع مـن المرشحات.
- تزال النهاية الصغـرى فـي منحنـي الانعكاسية بمجرد التحكم بقيمة S .
- يعمل هذا التصميـم [شـكل (1-C)] عمل طلاء مضاد للانعكاس للمنطقة الطيفية (8 -14 μ m) والجدول (2) يلخص هذه الظواهر.

ثالثـاً : تراكب الكومتين (فقرة ثانيا) والتحكـم الدقيق بالسمك البصري للكومتين وادخال طبقـة وسطية من شانه ان يزيل النهاية الصغرى [شكل (1-D)]موسعا بذلك منطقة الانعكاسية العاليـة ، الا ان الاداء البصري وللمنطقة الطيفية المطلوبة (8 –14 μ m) سيظهر عمـل مرشـح حافـة للاطوال الموجية الطويلـة بعـد تحسـين اداهـا البصري.اما لحالة Ge [شـكل (2-D)] فـان تراكب الكومتين (فقرة ثانيا) وادخـال طبقـة وسطية يودي الى ازحة موقع النهاية الصغرى من 8.8 μ m الى 11.2 μ m ، اما التحكم بالسمك البصري للكومة فانه يسبب ازالة لهذا الانخفـاض جاعلا المنطقة الطيفية (8 -14 μ m) منطقـة انعكاسية عالية ممتدة بعرض حزمـة 4.5 μm ، والجدول (3) يلخص هذه النتائج.



شكل(1) الانعكاسية دالة للطول الموجي للتصاميم : A,B,C,D
n_H(Stibniate)=2.70, n_L(Chioliate)=1.35 , n_S(BaF_2)=1.45.



شكل(2) الانعكاسية مقابل الطول الموجي للتصاميم : A,B, C ,D
n_S(Ge)=n_H(Ge)=4.00, n_L(ZnS)=2.20 , λ_0 =10.6 μm

جدول (1) المواصفات الفنية للتصاميم والمواد المستخدمة

التصاميم	الدراسة السابقة[2]	الدراسة الحالية
	Long wave pass filter BaF_2[0.5HL0.5H]4 Air	Short wave pass filter BaF_2[0.5HL0.5H]4 Air
	Short wave pass filter BaF_2[0.5LH0.5L]4 Air	Short wave pass filter BaF_2[0.5LH0.5L]4 Air
(Low index) n_L	**Chioliate** 1.35	**ZnS** 2.20
(High index) n_H	**Stibniate** 2.70	**Ge** 4.0
(Substrate index) n_S	**BaF_2** 1.45	**Ge** 4.0
λ_{01} (μm)	6.30	9.0
λ_{02} (μm)	4.06	11.0

جدول (2) مقارنة النتائج النظرية للدراسة الحالية مع نتائج [2] Baumeister and Turner

التصاميم	نوع الدراسة وطول موجة التصميم (λ_0)		رقم الشكل	الملاحظات
I. Low-frequency pass stacks BaF_2 [0.5HL0.5H]^4 Air	عملي 4.05&,6.3μm[2]	نظري 4.06&,6.3μm	(1-A)	يصلح كمرشح حافي (Edge Filter) نوع(Long-wave pass filter)
II. High-frequency pass stacks BaF_2 [0.5LH0.5L]^4 Air	عملي 4.05&,6.3μm [2]	نظري 4.06&,6.3μm	(1-B)	يصلح كمرشح حافي (Edge Filter) نوع (Short-wave pass filter)
III. BaF_2 [0.5HL0.5H]^4[0.5LH0.5L]^{4}Air	-	نظري 5.18 μm	(1-C)	يصلح لان يكون مرشح امرار حزمة ضيقة حيث يظهر انخفاض شديد في منطقة الانعكاسية العالية .
IV. BaF_2 1.6[0.5HL0.5H]^4 L 1.2[0.5LH0.5L]^{4}Air	-	نظري 5.18 μm	(1-D)	يصلح كمرايا ممتدة الحزمة بعد ان عولجت فيها الانخفاض الحاد في الانعكاسية

n_L(Chioliate)=1.35 , n_H(Stibniate)=2.70, n_S(BaF_2)=1.45
$n_L d_L = n_H d_H = \lambda_0/4$ for spectral region (2 –14 μ m)

جدول (3) الدراسة الحالية المتضمنة مادة الجرمانيوم كاساس

التصاميم	نوع الدراسة وطول موجة التصميم (λ_0 μm)	رقم الشكل	الملاحظات
I. Low-frequency pass stacks Ge [0.5HL0.5H]^4 Air	9.0 ,11.0	(2-A)	يصلح كمرشح حافي لامرار الاطوال الموجية القصيرة
II. High-frequency pass stacks Ge [0.5LH0.5L]^4 Air	9.0 ,11.0	(2-B)	يصلح كمرشح حافي لامرار الاطوال الموجية القصيرة وهو افضل من الترتيب I.
III. (1) Ge [0.5LH0.5L]^4[0.5HL0.5H]^{4}Air	10.6	(2-C)	(1) تراكب الكومتين I وII يودي الى ظهور انخفاض حاد في منطقة الانعكاسية العالية عند طول موجة 11.2 μm ويصلح كمرشح امرار حزمة ضيقة .
(2) Ge [0.5LH0.5L]^1 [0.5HL0.5H]^{4}Air	10.6	(2-C)	(2) يصلح كمرايا ذات انعكاسية ممتدة بعدازالة النهاية الصغرى للانعكاسية .
IV. (1) Ge [0.5LH0.5L]^4 L[0.5HL0.5H]^{4}Air	10.6	(2-D)	(1) تراكب الكومتين III وادخال طبقة وسطية سمكها البصري ربع طول موجة يعمل على ازاحة النهاية الصغرى للانعكاسية من 11.2 μm- الى 8.85 μm ~ .
(2) Ge 1.6[0.5LH0.5L]^4 L 1.2[0.5HL0.5H]^{4}Air	10.6	(2-D)	(2) تراكب الكومتين III والتحكم في سمك الكومتين يودي الى توسيع منطقة الانعكاسية العالية الى 4.50 μm ~ .

n_L(ZnS)=2.20 , n_H(Ge)=4.0, n_S(Ge)=4.0
$n_L d_L = n_H d_H = \lambda_0/4$ for spectral region (2 –14 μ m)

الاستنتاجات

مما تقدم يمكن ان نستنتج مايلي:

- ان ترتيب كومتين متناظرتين نوع $[0.5H\ L\ 0.5H]^S$ و $[0.5L\ H\ 0.5L]^S$ والتحكم الدقيق برتبة الدورية الاساس S من شانه ان يوسع عرض حزمة الانعكاسية العالية مزيلا بذلك النهاية الصغرى للانعكاسية، وقد لوحظت هذه الظاهرة في المنطقة الطيفية تحت الحمراء البعيدة فقط ،في نفس الوقت ان ترتيب الكومتين الانفتي الذكر يصلح لتصميم مرشح امرارحزمة ضيقة افضل من التصاميم المعتمدة على مرشح فابري –بيرو[6]المستخدمة اساسا في تصميم هذا النوع من المرشحات.

- ان تراكب الكومتين المتناظرتين نوع $[0.5H\ L\ 0.5H]^S$ و $[0.5L\ H\ 0.5L]^S$ والتحكم الدقيق بطول موجة التصميم لكل كومة من شانه ان يوسع عرض الحزمة ، الا ان ادخال طبقة وسطية بين الكومتين والسيطرة على سمكها البصري ومعامل انكسارها يحسن عرض الحزمة بشكل كبير وملحوظ.

REFERENCES

1. Driscoll, W.G.,and Vaughan W. , 1978, Handbook of Optics , McGraw - Hill, New York.
2. Turner, A.F. and Baumeister P.W.,1966, "Multilayer mirrors with high reflectance over an extended spectral region ," Appl.Opt. ,Vol.**5**,PP.69-76.

3. Penslein, L.I., znd Stendel A., 1955, "Fabry-Perot interferometerverspieglungen aus dielektris chen vielfachsciten , " Z.Phys.,Vol.142,PP.21-41.
4. Heavens, O.S. ,and Liddell H.M.,1966, " Straggered broad-band reflecting multilayers," Appl.Opt.,Vol.5,PP.374-76.
5. Abele's, F.,1950 ,"Recherche' sur la propgation des on des electromagne'tique sinusida les dans les milieux stratifie application aux couches minces , " Ann de Physique,Vol.**5**,PP.596-640.
6. Rashid, H.Gh.,1997," Design and Optimization of Thin -Film Optical Filters with Applications in Visible and Infrared Regions, Ph.D. Thesis , Al-Mustansiriyah University.
7. Macleod, H.A., 2001,Thin Film Optical Filters, Mc Graw-Hill company , New York.
8. Epstein, L.I , 1952," The design of optical filters, " J.Opt.Soc. Am., Vol. 42, PP.806-10.
9. Thelen, A.J.,1966 , "Equivalent layers in multilayers filters ", J.Opt.Soc.Am. Vol.5,PP.1533-38.
10. Baumeister, P.,1996,"Multilayer reflectors with absent higher-order reflectance bands",Appl.Opt. , Vol. 35,PP.4978-81.
11. Kim, S.H.,and Hwangbo C.K.,2002,"Design of omnidirectional high reflectors with quarter-wave dielectric stacks for optical communication bands", Appl. Opt.,Vol.41,PP.3187-92.

EXTENSION OF HIGH REFLECTANCE BAND WIDTH FOR FAR INFRARED SPECTRAL REGION : (1)

HAIFA'A GH. RASHID

Assistance Professor-Physics Department-College of Education-Al-Mustansiryiah University

ABSTRACT

Extension of bandwidth for high reflectance zone for the spectral region (8-14μm) was studied adapting the concept of contiguous and overlapping high reflectance stacks. Computations was carried out using the modified characteristic matrix theory restricted to near-normal incidence of light on dielectric , homogenous and isotropic symmetrical stack. Certain precautions must be taken in the choice of stacks to avoid deep –reflectance minima from developing within the extended high reflectance region. Results illustrate that the techniques of extending the high reflectance regions are applicable not only to mirrors , but also to short-and long-edge filter and to narrow band pass filters.

Key words: Periodic Stack , All-dielectric mirrors, Reflectance, Optical filters