توسيع عرض حزمة الانعكاسية العالية للمنطقة تحت الحمراء البعيدة: (2)

هيفاء غازي رشيد *

تاريخ قبول النشر ١٥/٥/٢٠٠٤

الخلاصة

تم توسيع عرض الانعكاسية العالية للمنطقة الطيفية تحت الحمراء البعيدة (m ى 14- 8) باعتماد ترتيب الكومتين الدوريتين ذات سمك بصري لايساوي ربع طول موجة ومقارنتها مع نتائج الدراسات السابقة. استندت الدراسة الحالية على نظرية المصفوفة المميزة المعدلة ولسقوط للضوء قريب من العمودي على ترتيب متعدد الطبقات من مواد عازلة وبشكل اغشية رقيقة متجانسة ومتماثلة الخواص رسبت على الجرمانيوم كاساس. اوضحت النتائج ، ان الاختيار الامثل للكومات ومواقعها يودي الى توسيع عرض حزمة الانعكاسية العالية وهو اسهل بكثير للمنطقة تحت الحمراء منه للمنطقة المرئية، اضافة الى ان ترتيب هذه الكومات يعد حجر الاساس لمرشحات بصرية اخرى.

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 الواطي n_L ويرتبط بسمك الطو ر 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 ذات معامل الانكسار العالي و الواطي على التوالي. 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 نظرا لمحدودية توفير المواد ضمن المنطقة الطيفية المطلوبة.

الطرائق التحليلية

اقترح الباحثان Penstein & Stendel [3](اول المشتغلين في معالجة عرض الحزمة) تغير السمك في الطبقات بشكل متوالية توافقية (Harmonic progression) اما Heaven & Liddell [4] فقد اعتمدوا نفس الطريقة الا ان سمك الطبقات يتغير بشكل متوالية هندسية واخرى عددية (Arithmetic or geometric progression) واقتصرت الدراسة على الزجاج الاعتيادي كاساس رسبت عليه مادتي MgF_2 و ZnS كطبقات متعاقبة . اوضح Abele's [5] بان الشرط الضروري والكافي

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

(Necessary & sufficient condition) لظهور الانعكاسية العالية للكومة ذات سمك ربع طول موجة لكل طبقة:

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

M هي مصفوفة الدورية الاساس لكومة.
اما الدراسة المقدمة من قبل الباحثين (Baumeister & Turner) [2] ، فانها تعد من الدراسات ذات الاهمية والشمولية ، فقد اعتمدوا طريقتين لتوسيع حزمة الانعكاسية العالية:

(١)ترتيب الكومات ذات الانعكاسية العالية Contiguous of high reflectance stacks) وهما على نوعين:
(a) ترتيب كومتين او اكثر على نفس الارضية الاساس والتحكم بطول موجة التصميم لكل كومة،
(b) ترتيب كومتين او اكثر على نفس الارضية الاساس وبسمك لايساوي ربع طول موجة.

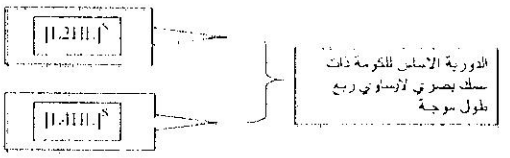
(٢) تراكب الكومات ذات الانعكاسية العالية (Overlapping of high reflectance stacks) والتحكم الدقيق لطول موجة التصميم لكل كومة لغرض ازالة النهاية الصغرى للانعكاسية (Deep minimum reflectance) التي تظهر في الطيف الممتد للانعكاسية العالية. اعتمدت الحسابات على نظريتي المصفوفة المميزة (Charactristic matrix theory)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

الطرائق العددية

اجرت الباحثة (Rashid) [6] دراسة تفصيلية للتصميم الامثل للمرايا ذات الانعكاسية العالية وعالجت مشكلة عرض الحزمة المحدد الذي يرافق عادة المرايا المكونة من مواد عازلة اضافة الى دراسة كيفية تسطح(Flatness) قمة الانعكاسية العالية باعتماد الطرائق العددية المثلى[10] .
تهدف الدراسة الحالية الى توسيع حزمة الانعكاسية العالية المكونة من مواد عازلة باعتماد طريقة (Baumeister & Turner) [2] ،الفقرة (1-b) في هذه الدراسة مستخدما نظرية المصفوفة المميزة المعدلة [6]،اضافة الى اكمال الطريقة المقترحة سابقا [11,12] .

النموذج التحليلي

لغرض توسيع حزمة الانعكاسية العالية ، فاننا اعتمدنا الكومة ذات الترتيب(pqp) وللنوعين :



وباعادة كتابة الترتيب الدوري للكومة $[L2HL]^S$ فان ،

L2H L L2H L L2HL L2HL..... L2HL (1)

وبجمع الطبقات ذات السمك LL ،فان ،

L 2H 2L 2H 2L 2H 2L 2H ..... 2H 2L 2H L (2)

وبدلالة الدورية الاساس للمرايا ذات الانعكاسية العالية ، فان الترتيب (1) يمكن التعبير عنه،

$$[L2HL]^S \longrightarrow LH]^S\,[HL]^S \qquad (3)$$

وهو ترتيب كومتين دوريتين ذات سمك ربع طول موجة متعاكسين وهي اساس عمل مرشح فابري-بيرو (Fabry-Perot filter) [6,7].

النتائج والمناقشة

تم دراسة توسيع حزمة الانعكاسية العالية للمنطقة الطيفية (8 -14μm) معتمدين على نظرية المصفوفة المميزة المعدلة لحالة السقوط القريب من العمودي ولمادتي BaF_2 و Ge كاساس. رسبت الطبقات بالتعاقب ضمن ترتيب الكومات الدورية ذات سمك بصري لايساوي ربع طول موجة ، أي ،

$$[L2HL]^S$$
$$[L4HL]^S$$

لخصت مواد الطلاء المستخدمة وسمكها البصري كما يلي:

الدراسة وتوعها	Baumeister & Turner[2]	الدراسة الحالية
النظرية التصاميم	نظرية الطبقة المكافئة [2] $[L2HL]^S$ $[L4HL]^S$	نظرية المصفوفة المميزة المعدلة [6] $[L2HL]^S$ $[L4HL]^S$
معاملات الانكسار	Stibinate	Ge
Low index n_l	2.70	4.0
High index n_H	Chloflate 1.35	Ge 4.0
Substrate index n_s	BaF_2 1.45	Ge 4.0
Optical thickness	$n_H d_H = n_l d_l = c_o/4$ $m_{عشوائي} = 3.1$	$n_H d_H = n_l d_l = c_o/4$ $m_{عشوائي} = 3.1$

تطلبت الدراسة اولا اجراء مقارنة النتائج النظرية للدراسة الحالية مع النتائج العملية [2] ولمادة BaF_2 كاساس كما موضح في الشكلين (1-A,C) . الاشكال تبين ان التصميم :

BaF_2 [L2HL]^4 Air

يظهر انعكاسية عالية ضمن المنطقة (5-8 μm) وبعرض حزمة 3.0Mm ~ ، اما المنطقتين (2.2-5.0 μm) و (7-14μm) فانهما تصلحان كمرشح حافي لامرار الاطوال الموجي القصيرة والطويلة وعلى التوالي او يصلح كمرشح امرار حزمة عريضة للمنطقة (2.2-5.0 μm) بعد ان يتم ازالة قمة الانعكاسية العالية التي تظهر عند الطول الموجي2μm .

اما التصميم :

BaF_2 [L4HL]^4 Air

الموضح في الشكل (1-C) ، انه يوضح ان منطقة الانعكاسية العالية قد ازيحت باتجاه الاطوال الموجية الطويلة وتحديدا (8-12Mm) وبزيادة واضحة في عرض الحزمة 4.0 μm ~ ، اضافة الى ظهور قمة انعكاسية عالية عند طول موجة 4.5 μm ~ ومرشحات حافية او عريضة على جانبي الحزمة . اما الجرمانيوم كاساس [الشكلين (1- B,D)] وباستخدام مادتي ZnS و Ge فان سلوك الانعكاسية مقابل الطول الموجي يكاد يكون مماثلا لمنحنيات BaF_2 .اما المناطق التي تعمل عمل مرشحات حافية فانها تتطلب ازالة القمم الثانوية والتي تظهر بسبب كون معامل انكسار الجرمانيوم اعلى من BaF_2 .

لغرض توسيع عرض حزمة الانعكاسية فقد تم ترتيب الكومتين [L2HL] و [L4HL] واختيار موقعها الافضل على المدة الاساس ، فقد اعتمدت التصاميم :

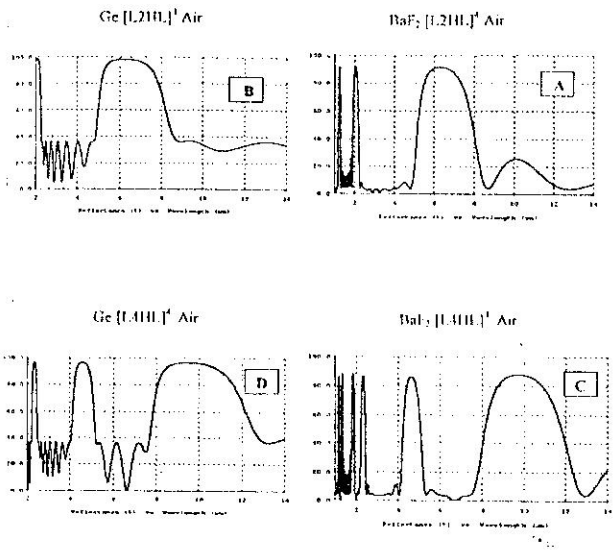
BaF_2 [L2HL]^4 [L4HL]^4 Air .....(1)
Ge [L2HL]^4 [L4HL]^4 Air ..... (2)
BaF_2 [L4HL]^4 [L2HL]^4 Air .....(3)
Ge [L4HL]^4 [L2HL]^4 Air ..... (4)

والموضح في الشكل [2] اذ ان اغلب الاطوال الموجية ضمن المنطقة (4-1- 8 μm) تنعكس بطور واحد تقريبا مسببا تداخلا بناء وزيادة في قيم الانعكاسية العالية . ان اختيار طول موجة التصميم والمواد المرسبة يلعب دورا اساسيا في تسطح منطقة الانعكاسية العالية وتستلزم دراسة اضافية لازالة التشويش الحاصل في المنطقة وبقل التاثير لمادة الجرمانيوم ، الملاحظ ان التصميم الاول افضل من الثاني في توسيعه لمنطقة الانعكاسية العالية لمادتي الاساس BaF_2 و Ge كما موضح في الشكلين [2-B] و [2-D] .

الاستنتاجات

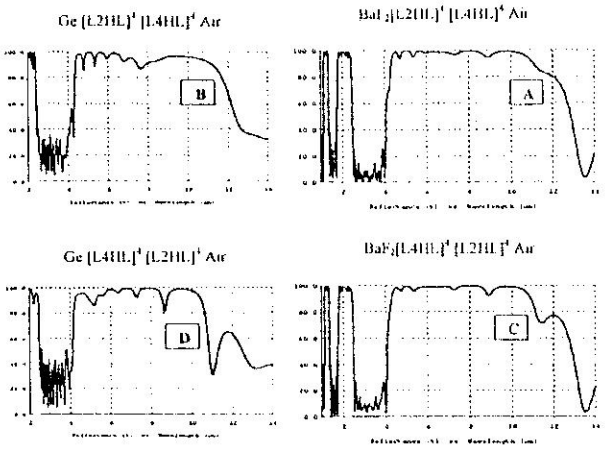
مما تقدم يمكن ان نستنتج مايلي:

- يمكن توسيع منطقة الانعكاسية العالية للمنطقة الطيفية (8 -14 μm) باعتماد ترتيب الكومات الدورية ذات سمك لايساوي ربع طول موجة وتحديدا[L2HL] و [L4HL] وهي افضل من ترتيب الكومة (2:1) والترتيب المقترح في الدراسة السابقة [2,11]، اذ ان عدد الطبقات والسمك البصري يكون اقل من الترتيبات الاخرى.
- ان موقع الترتيبين [L2HL] و [L4HL] في الدورية الاساس يوثر على قيمة وعرض حزمة الانعكاسية العالية.
- يصلح هذا النوع من الترتيبات كحجر اساس لمرشح حافية واخر لامرار حزمة عريضة.



شكل(1) الانعكاسية دالة الطول الموجي للتصاميم :
BaF_2 [L2HL]^4 Air, Ge [L2HL]^4 Air
BaF_2 [L4HL]^4 Air, Ge [L4HL]^4 Air
n_H(Stibniate)=2.70, n_L(Chiolaite)=1.35 , n_S(BaF_2)=1.45.
n_H(Ge)=4.0, n_L(ZnS)=2.20 , n_S(Ge)=4.0, λ_o =3.1μm

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. Dobrowolski, J.A. ,and Kemp R.A. ,1990, "Refinement of optical multilayer systems with different optimization procedures ,"Appl. Opt. ,Vol.29,PP.2876-93.
11. Baumeister, P.,1996,"Multilayer reflectors with absent higher-order reflectance bands",Appl.Opt. , Vol .35,PP.4978-81.
12. 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.



شكل (2) الانعكاسية دالة للطول الموجي للتصاميم .
$BaF_2[L2HL]^4\,[L4HL]^4$ Air
$Ge[L2HL]^4\,[L4HL]^4$ Air
$Ge\,[L4HL]^4\,[L2HL]^4$ Air
$BaF_2\,[L4HL]^4\,[L2HL]^4$ Air
n_H(Stibnate) =2.70, n_L(Cholitate) =1.35 , n_s(BaF_2) =1.45.
n_H(Ge) =4.0, n_L(ZnS) =2.20 , n_s(Ge) =4.0, λ_o =3.1μm

REFERENCES

1. Driscoll,W.G.,and Vaughan W. , 1978, Handbook of Optics , M c Graw - 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 interferome terverspieglungen aus dielektrischen vielfachseiten , " 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.

EXTENSION OF HIGH REFLECTANCE BAND WIDTH FOR FAR INFRARED SPECTRAL REGION : (2)

HAIFA'A GH. RASHID

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

ABSTRACT

Extension of high reflectance bandwidth for the spectral region (8-14μm) was studied adapting the concept of non-quarter wave contiguous stacks. Results was compared with previous studied and the computation was carried out using the modified characteristic matrix theory restricted to near-normal incidence of light on dielectric , homogenous and isotropic periodic stacks. Results illustrate that extended high reflectance band yield by the accurate selection of stacks and their sequences. Furthermore , such stacks may be considered as a building block for other types of optical filters.

Key words: Periodic Stack ,Contiguious stacks ,high reflectance mirrors, Optical filters