تصميم عواكس متعددة الحزم باستخدام مفهوم الكومـــة

هيفاء غازي رشيد *

تاريخ قبول النشر ٢٠٠٤/٨/٢١

الخلاصة

صممت مرايا مزدوجـــة وثلاثية الحزمة باعتماد مفهوم الكومة ، حيث تم تغير سمك الطبقتين ضمن الدورية الاساس للكومة ونسب مختلفة (p:q) اضافةالى تغيرمعامل انكسار المواد ضمن الدوريـــة الاســاس وتاثيرها على مواقع ظهور قمم الانعكاسية العالية. شملت الدراسة المنطقة الطيفية المرئية وتحـــت الحمـــراء بالاعتماد على نظرية المصفوفة المميزة المعدلة ولسقوط للضوء قريب من العمودي علـــى ترتيـــب متعـــدد الطبقات لمواد عازلة وبشكل اغشية رقيقة متجانسة ومتماثلة الخواص. أوضحت النتائج،ان اعتمـــاد مفـــهوم الكومة يمكننا من التحكم بمواقع قمم الانعكاسية العالية وتوسيع عرض حزمتها والتي هي الاساس في تصميـــم المرايا المزدوجة و ثلاثية الحزمة اضافة لـــكونها حجر الاساس لمرشحات بصرية اخرى.

المقدمـــة

اكتسبت المرايا ذات الانعكاسية العاليـــة والمصنعة باستخدام تقنية الاغشية الرقيقة اهميتـــها من خلال التطبيقات الواسعة لـــها فـــي الاجـــهزة البصرية وتحديدا في مرنانة الليزر (Resonator) [1-3] (التي تتطلب ان تكـــون ظاهرتي الامتصـــاص والاســـتطارة واطئتيـــن) وتتكون عادة من مراتين احداهما ذات انعكاســـية عالية والاخرى لها نفاذية معينة لطـــول موجـــة الليزر. ونظرا للامتصاصية العالية للفلزات فقـــد استعيض عنها بمواد عازلـــة (Dielectric materials) [2-5] والتي يمكن التحكـــم بكميـــة الانعكاسية العالية وعرض حزمة الانعكاس وذلـــك بالاختيار الامثل لمواد الطلاء وسمكها البصـــري وعدد الطبقات المرسبة. تعتمد اغلـــب تصـــاميم المرايا ذات الانعكاسية العالية على مفهوم الكومة المكونة من ترتيب دوري يتناوب فيـــها معـــاملي الانكسار العالي n_H و الواطئ n_L وبسمك بصري ربـــع طـــول موجـــة $\lambda_0/4$، $n_L d_L = n_H d_H$ وللتصميم [4-6]:

Air $[HL]^S$ Substrate

S – تشير الى رتبة الدورية الاساس (Order of periodicity) ، [HL] الفترة الاســـاس (Basic Period). λ_0 طول موجة التصميم ، d_L و d_H السمك الهندســـي للطبقتيـــن L و H على التوالي. يحدد هذا التصميـــم موقـــع قمـــة الانعكاسية العالية عند طول موجة التصميم ، اي، مايعرف بـــ " الانعكاسية الاساسية " [5] (Fundamental reflectance) .

تعد الدراسة المقدمة من قبل الباحثين (Baumeister & Turner) [6] ولحد الان من الدراسات الاكثر اهمية وشمولية ، حيث اقترحـــا استخدام الكومة (2:1) من خلال التغـــير فـــي سمك المواد المرسبة ضمن الترتيب الدوري ممـــا ادى الى ظهور رتبة الانعكاسية العاليـــة الاولـــى والثانيـــة(First-and second-order high reflactance bands) عنـــد الاعـــداد الموجيـــة النسبية ($g=\lambda_0/\lambda=2/3,4/3$) واختفائـــها عنـــد طول موجة التصميم $g=1.0$. ان هذا الـــترتيب استخدم في التحكم في عرض حزمة الانعكاســـية العالية دون الاشارة الى استخدامها فـــي تصميـــم المرايا المزدوجة والثلاثية واعتمدت دراسته علـــى نظريتـــــي المصفوفـــــة الممـــــيزة (Characteristic matrix theory) [5] ونظرية الطبقة المكافئة[7,8].

درست الباحثة (Rashid) [9] تاثير الســـمك البصري للطبقات ضمن الترتيب الدوري للكومـــة وبنسب مختلفة (p:q) معتمـــدة علـــى نظريـــة

---

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

المصفوفة المميزة المعدلة[9] دون الاشارة الى تصاميم المرايا المزدوجة والثلاثية وشملت الدراسة المنطقة الطيفية المرئية وتحت الحمراء القريبة . وصف الباحثان LiLi & Dobrowolski [10,11] طريقة تصميم طلاء بصري يعمل لمنطقتين او ثلاث مناطق ممتدة ومنفصلة (Two or more widely separated regions) حيث اعتمدت الطريقة على مفهوم الطبقات المنظمة(Buffer layers) واوضحوا تحديدات هذه الطريقة وتاثيرها على الاداء البصري . الملاحظ في هذه الدراسة ، ان ما وصف في هذه الطريقة يعود الى تصميم نوعين مختلفين من المرشحات ، مثلا ، مرايا ذات انعكاسية عالية في المنطقة المرئية وطلاء مضاد للانعكاس في المنطقة تحت الحمراء في ان واحد. ونظرا للحاجة المتزايدة الى تصميم وتصنيع مرايا ذات انعكاسية عالية مزدوجة الحزمة[12] تعمل عند طولين موجيين او اكثر في ان واحد ، فقد ادرجت الشركات مخططات الانعكاسية عند طولي موجتي 350 nm و 1600 nm [13] دون ذكر تفاصيل التصميم والتصنيع. تهدف الدراسة الحالية الى تصميم مرايا مزدوجة وثلاثية الحزمة معتمدة على الطريقة المستخدمة سابقا [9] لتشمل المنطقة الطيفية تحت الحمراء وتحديدا عند طول موجي الليزر λ_0 =10.6 μm .

تاثير تغير سمك الطبقات ضمن الدورية الاساس على طيف الانعكاسية

تناولت الدراسة تغير سمك الطبقات ضمن الدورية الاساس للكومة حيث اقتصرت على تغير النسب (p:q) =1:1 , 2:1 , 3:1 للتصميم :

Air |H.L|^q Substrate

اختير الزجاج الاعتيادي والجرمانيوم كمادتي اساس(معاملا انكسارهما 1.52 و 4.0 عند الطول الموجي 550nm و 10.6 μm على التوالي) انعكاسيتهما (بدون طلاء) ~4.0% و ~36.0% وعلى التوالي.

كومة (1:1)

ان الشرط الضروري للحصول على الانعكاسية العظمى (R_{max}) في مناطق غير g=1.0 هو |4|:

$$\sum n_i d_i = g\,\frac{\lambda_0}{2}$$

اذ تمثل g عددا صحيحا وهو رتبة حزمة الانعكاسية العالية .فاذا كان طول موجة التصميم لمنطقة الانعكاسية الاساسية هو λ_0 ، فان مناطق الانعكاسية العالية الاخرى تحدث عند جميع الاطوال الموجية التي تمتلك طبقاتها سمكا بصريا مقداره عدد فرديا لربع طول الموجة ومضاعفاتها الفردية ، أي ،

$\lambda_0/4$, $3\lambda_0/4$, $5\lambda_0/4$, ...

حيث ان العدد الموجي النسبي g يحدد بالقيم

$g= \lambda_0/\lambda$ =1,3,5,7

اما الاطوال الموجية التي تمتلك طبقاتها سمكا بصريا مكافئا لعدد زوجي لربع طول الموجة ومضاعفاتها التي تكون مساوية لعدد صحيح لنصف الطول الموجي ، أي :

$\lambda_0/2$, λ_0 , $3\lambda_0/2$, ...

حيث ان g=2,4,6,8

ففي هذه الحالة تسمى الطبقة بالطبقة الغائبة (Absentee layer) والانعكاسية عندئذ تكون انعكاسية الاساس دون طلاء [9] ويلخص الجدول (1) المقارنة مع الدراسات السابقة للزجاج والدراسة الحالية للجرمانيوم والموضحة بالشكلين (1 و 2) . الملاحظ من الاشكال ، ان سلوك الانعكاسية على مدى واسع لقيم g للمنطقتين المرئية وتحت الحمراء يكاد يكون سلوكا عاما حيث ظهرت قمم الانعكاسية العالية عند g=1,3,5 وهي بذلك تصلح كتصاميم لمرايا ثلاثية الحزمة ، كذلك ظهور مناطق انعكاسية واطئة عند قيم g=2,4,6 والتي تصلح بدورها لان تكون مرشحات امرار حزمة عريضة بعد ان يتم ازالة قممها الثانوية . يعزى الاختلاف في الاداء البصري للزجاج والجرمانيوم الى ان الجرمانيوم ذو معامل انكسار عالي مقارنة بالزجاج.

كومة (2:1)

عندما يكون السمك البصري للدورية الاساس محددا بالمعادلة:

$$2n_L d_L + n_H d_H = \lambda_0$$

فان التصميم يكون

Air [H'L'L']^4 Substrate

اذ تظهر قمم الانعكاسية العالية عند g=1.0, 2.0 اما عند g=3.0 فان الطبقات تتصرف تصرف الطبقة الغائبة ، كما في الشكلين (3 و 4) وتمثل هذه الكومة اساس عمل المرايا المزدوجة

الحزمة . اما المنطقة المحصورة بين g=1→2 و g=4→5 فانها تمثل تصاميم لمرشحات امرار حزمة ضيقة (Narrow bandpass filter) اما المنطقة المحصورة بين g=2→4 فانها تمثل مرشح امرار حزمة عريضة(Broad bandpass filter) بعد ان يتم ازالة القمم الثانوية التي تظهربشكل اكثر موثراً للجرمانيوم عنه لحالة الزجاج .

كومة (3:1)

عندما يكون السمك البصري للدورية الاساس محددا بالمعادلة:

$$3n_L d_L + n_H d_H = \lambda_0 / 2$$

فالتصميم يكون:

Air [H"L"L" L"]^4 Substrate

فان الانعكاسية العالية تظهر عند g=1.0, 2.0 اما عند g=4.0 فان الطبقات جميعها تتصرف تصرف الطبقة الغائبة والانعكاسية هي للارضية الاساس. ان هذا الترتيب هو الاساس في لتصميم لمرايا مزدوجة و ثلاثية الحزم كما موضح في الشكلين (5 و 6) ، نلاحظ ان سلوك الجرمانيوم مقارنة بالزجاج قد اختلفت بعض الشي في بعض المناطق وتحديد عند g=1—2 و g=2—3 مقارنة بالكومة ذات الاسماك (1:1) و (2:1) . اذ كلما ازداد السمك البصري للكومة فان التاثير سيكون على قيم الانعكاسية للقمم الثانوية . ان هذا النوع من الكومات يصلح لان يكون مرشح حزمة عريضة للمنطقة g=2—3 بعد ازالة القمم الثانوية اضافة لذلك يمكن ازالة قمم الانعكاسية عند g=1,2,3 وجعلها مرايا ذات انعكاسية عالية تمتد إلى مدى واسع من الطيف او التحكم بعرض الحزمة ضمن المنطقة الطيفية المطلوبة.

دراسة تاثير الانعكاسية عند استخدام ثلاث مواد ضمن الدورية الاساس

تم اختيار الجرمانيوم كمادة اساس رسبت عليه مواد ذات معاملات انكسار عالي n_H واخر واطئ n_L ومادة ثالثة معامل انكسارها وسط بين المادتين والتي تحدد بالمعادلة:

$$n_M = \sqrt{n_L n_H}$$

لذا فان الدورية الاساس تكون [LMH] او [LHM] او [MLH] وبسمك ربع طول موجة لكل طبقة ، اي:

$n_L d_L = n_H d_H = n_M d_M = \lambda_0/4$.

وعند مقارنتها مع نتائج الانعكاسية للتصميم المكون من مادتين :

Air [HL]^4 Ge

نلاحظ ان الاختيار الامثل لموقع الطبقة ذات معامل الانكسار الوسطي يؤول الى تصميم مرايا مزدوجة الحزمة كما موضح في الاشكال (7a,b,c) ويعتبر الشكل (7- a) افضل نموذج لتصميم مرايا مزدوجة الحزمة لطولين موجتي 8 µm و16µm اما المنطقة المحصورة بين فانها تصلح لان تكون مرشح امرارحزمة عريضة. الا ان استخدام مادة ثالثة لايخلو من صعوبات ، اذ على المشتغلين في هذا المجال مراعاة اختيار المادة الثالثة بحيث تتوافق بصريا وكيميائيا مع الاساس و المادتين الاخرتين اثناء عملية الترسيب .

توسيع حزمةالانعكاسية العالية للكومة (2:1)

لغرض توسيع عرض حزمة الانعكاسية العالية للمرايا مزدوجة الحزمةالتي تعمل عند طولي موجتي ليزر هيليوم -نيون (632.8 nm) (λ_0) و ليزر النيوديميوم-ياك(λ_0 =1.06µm) فقد اعتمد الزجاج الاعتيادي كاساس رسبت عليه مادتي ZnS(n_H=2.35) و MgF_2(n_L=1.38) وباعتماد اسلوب تراكب كومتين (Overlapping stack) [6] والتحكم بالسمك البصري لكل كومة فانه يمكن تصميم مرايا مزدوجة الحزمة ممتدة وحسب التصميم:

Glass | [1.333L, 0.666H]^7 0.9L | [2.232L, 1.116H]^7 | Air

كما موضح في الشكلين (8) و (9) والجدول (2) يلخص اهم النتائج.

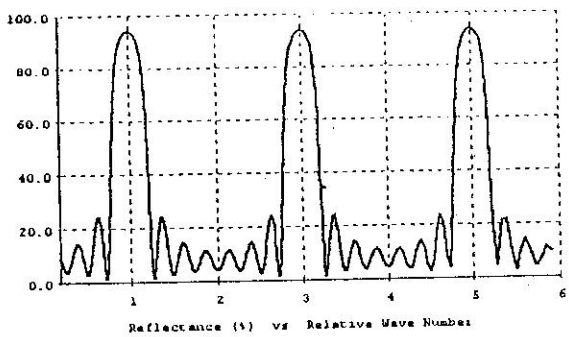
الاستنتاجات

مما تقدم يمكن ان نستنتج مايلي:

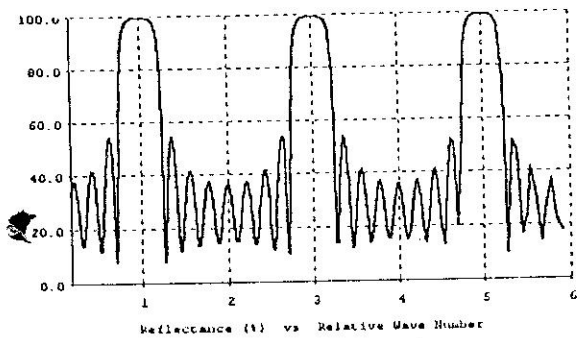
- تكتسب المرايا المتعددة الحزم اهميتها في كونها اقتصادية الثمن حيث يمكن استخدامها لمنطقتين طيفيتين او اكثر دون الحاجة الى تصنيع مرايا لكل منطقة على حدة ،و من ناحية اخرى فعند استخدام هذا النوع من المرايا كاجزاء بصرية ضمن منظومات توليد الليزر فان القياسات العملية ستجرى تحت

هي الظروف بالرغم من اختلاف المناطق الضيقة.

- ان تصميم المرايا المزدوجة و الثلاثية الحزم يعتمد بالاساس على التحكم بالسمك البصري تطبقت ضمن الترتيب الدوري للكومة ، حيث نلاحظ ان السلوك العام للانعكاسية مقابل الطول الموجي او العدد الموجي النسبي) يكاد يكون متماثلا للمنطقة المرئية وتحت الحمراء.
- ان تصميم المرايا المزدوجة و الثلاثية والمعتمدة على مفهوم الكومة يعد حجر الاساس لمرشحات بصرية من نوع اخر.
- ان ادخال مادة ثالثة معامل انكسارها وسط بين معاملي الانكسار العالي و الواطئ والتحكم الدقيق بموقعها ضمن الدورية الاساس يمكن استخدامه كبديل عن تغير سمك الطبقتين ضمن الدورية الاساس ، الا انه يتطلب توافقا بصريا وكيميائيا مع المواد المرسبة الاخرى ومع المادة الاساس.
- ان استخدام تراكب كومتين و التحكم بالسمك البصري للمواد المرسبة ضمن الترتيب الدوري للكومة والاختيار الامثل لطول موجة التصميم يودي الى تصميم مرايا مزدوجة الحزمة وبعرض حزمة انعكاسية عالية ممتدة على مدى واسع من الاطوال الموجية.



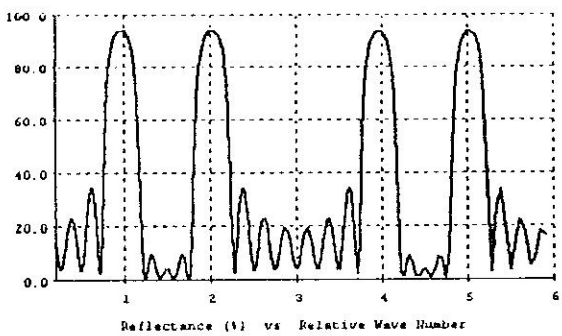
شكل(1) الانعكاسية دالة للعدد الموجي النسبي للتصميم: Glass $[LH]^4$ Air
محققا الشرط $n_L(MgF_2)=1.38, n_H(ZnS)=2.35$، $n_Ld_L=n_Hd_H=\lambda_0/2$
و $\lambda_0=500$ nm مقارنة مع [4,9].



شكل(2) الانعكاسية دالة للعدد الموجي النسبي للتصميم: Ge $[LH]^4$ Air
محققا الشرط $n_L(ZnS)=2.20, n_H(Ge)=4.0$، $n_Ld_L=n_Hd_H=\lambda_0/2$
و $\lambda_0=10.6$ µm

جدول (1) مقارنة الدراسة الحالية مع الدراسة السابقة للزجاج والدراسة الحالية للجرمانيوم

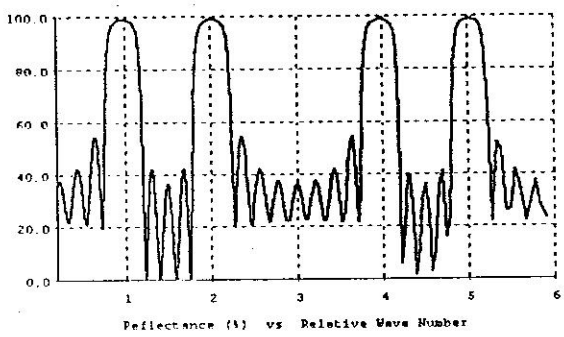
رقم الشكل	الجرمانيوم كاساس	رقم الشكل	الزجاج كاساس مقارنة مع المصدر [4,9]
(2)	كومة (1:1) Ge[LH]^4 Air	(1)	كومة (1:1) Glass[LH]^4 Air
(4)	كومة (1:1) Ge[L`LH]^4 Air	(3)	كومة (2:1) Glass[LHH]^4 Air
(6)	كومة (1:1) Ge[L`L`L`H`]^4 Air	(5)	كومة (3:1) Glass[L`L`L`H`]^4 Air
$n_0=1.0$ $n_L(ZnS)=2.20$ $n_H(Ge)=4.00$ $n_S(Ge)=4.00$ $\lambda_0=10.6$ µm		$n_0=1.0$ $n_L(MgF_2)=1.38$ $n_H(ZnS)=2.35$ $n_S(Glass)=1.52$ $\lambda_0=550$nm	



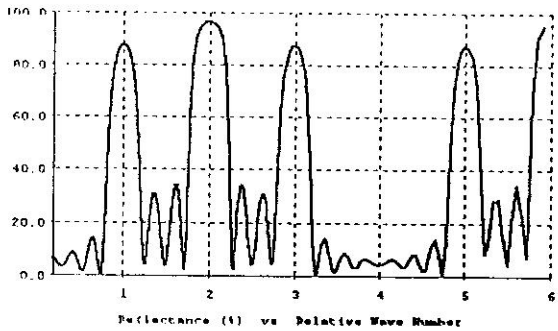
شكل(3) الانعكاسية دالة للعدد الموجي النسبي للتصميم: Glass $[L`L`H`]^4$ Air
محققا الشرط $n_L(MgF_2)=1.38, n_H(ZnS)=2.35$، $2n_Ld_L=n_Hd_H=\lambda_0/2$
و $\lambda_0=500$ nm مقارنة مع [4,9].

جدول (2) توسيع حزمة الانعكاسية العالية للكومة (2:1) ومقارنتها مع الدراسات السابقة

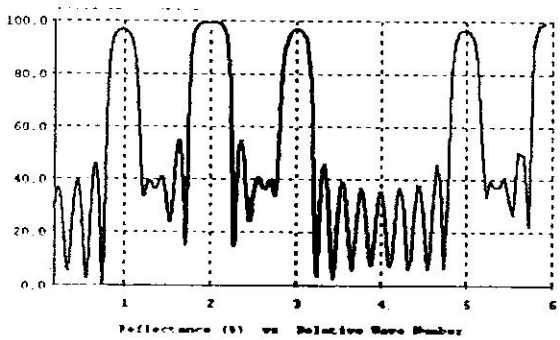
Design construction	Refractive index			Wavelength (nm)		Band width (nm)		R_{max} (%)	Fig. No.
	n_L	n_H	n_S	λ_{01}	λ_{02}	R_{Width}	R_{Width}		
[9]	-	-	glass 1.52	632.8	1064	~ 200	~ 175	35	(8)
Glass[1.333L0.666H]^7 0.9L[2.2329L1.1166H]^7 Air	MgF_2 1.38	ZnS 2.35	glass 1.52	632.8	1064	~ 280	120	25	(9)



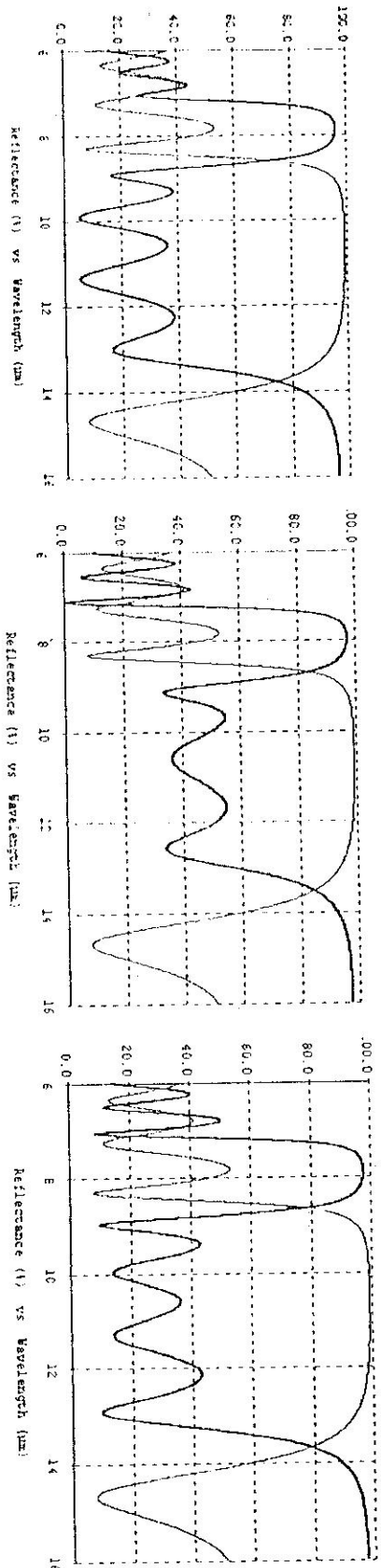
شكل(4) الانعكاسية دالة للعدد الموجي النسبي للتصميم Ge [L'L'H']^4 Air:
محققا الشرط $2n_L d_L = n_H d_H = \lambda_0 /2$ ، $n_L(ZnS)=2.20, n_H(Ge)=4.0$
و $\lambda_0 = 10.6\ \mu m$



شكل(5) الانعكاسية دالة للعدد الموجي النسبي للتصميم Glass [L'' L'' L''H'']^4 Air:
محققا الشرط $3n_L d_L = n_H d_H = \lambda_0 /2$ ، $n_L(MgF_2)=1.38, n_H(ZnS)=2.35$
و $\lambda_0 = 500$ nm مقارنة مع [4,9].

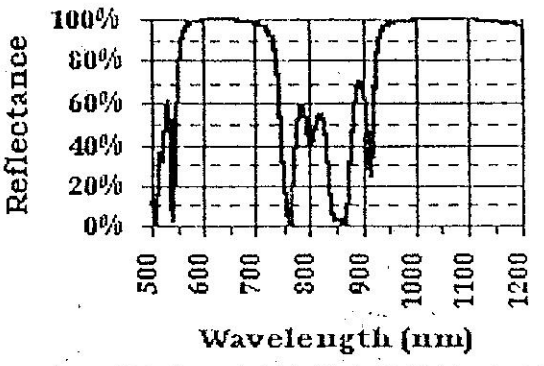


شكل(6) الانعكاسية دالة للعدد الموجي النسبي للتصميم Ge [L''L'' L''H'']^4 Air:
محققا الشرط $3n_L d_L = n_H d_H = \lambda_0 /2$ ، $n_L(ZnS)=2.20, n_H(Ge)=4.0$
و $\lambda_0 = 10.6\ \mu m$

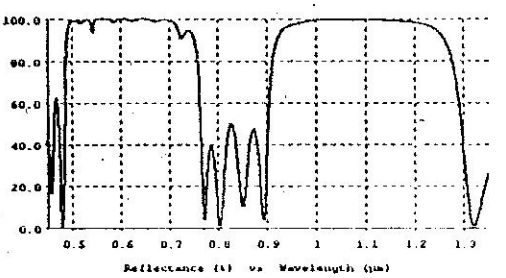


(a) (b) (c)

شكل (7) مقارنة الانعكاسية دالة تمثل الموجي للتصميم Ge [LH]^4 Air (المنحني الفاتح)
و التصاميم(الخط الغامق): Ge [LMH]^4 Air (a) ، Ge [LMH]^4 Air (b)
Ge [LMH]^4 Air (c)



شكل(٨) مخطط الانعكاسية مقابل الطول الموجي للمرايا المزدوجة [13]



شكل(٩) تصميم المرايا المزدوجة الحزمة للتصميم:
Glass [1.333L 0.666H] ^{7} 0.9L [2.2329L 1.1166H]^{7} Air

REFERENCES

1. Ledeger, A.M. 1979, "Inhomogenous interface laser mirror coating. "Appl.Opt.18:2979-89.
2. Patel, B.S. 1977,"Optical suitability of windows materials for CO_2 lasers ,"Appl.Opt.16:1232-35.
3. Arecchi, F.T. 1979, E.O .Schulz,and Z.Dobois, Laser Handbook ,*vol* . 1(North-Holland , Amesterdam ,.
4. Driscoll, W.G. and W.Vaughan , Handbook of Optics , 1978, (McGraw - Hill, New York,.
5. Macleod, H.A. 1986, Thin Film Optical Filters, (McGraw-Hill company , New York,.
6. Turner, A.F. and P. W .Baumeister, 1966,"Multilayer mirrors with high reflectance over an extended spectral region ," Appl.Opt. 5:9-76.
7. Epstein, L.I 1952, " The design of optical filters , " J.Opt.Soc.Am. 42: 806-10.
8. Thelen, A.J. 1966, "Equivalent layers in multilayers filters ", J. Opt .Soc.Am. 5:1533-38.
9. Rashid, Haifa'a Gh. 1997, Design and Optimization of Thin - Film Optical Filters with Applications in Visible and Infrared Regions, Ph.D. Thesis, Al-Mustansiriyah University.
10. Dobrowolski, Li Li and J.A. 1993,"Design of optical coatings for two widely separated regions." Appl.Opt. 32:2969-71.
11. Dobrowolski and Li Li, J.A. 1995,"Design of optical coatings for three or more separated spectral regions," Appl.Opt. 34:2934-40.
12. Monzon, T.Yonte, J.j. A.Teloipe and L.L.Sanchez-Soto , 2004, " Optimizating omnidirectional reflectoion by multilayer mirrors". J.Opt.A:Appl.Opt. 6:124-131.
13. Optical Component,Inc. 1996-2001,WWW.Oci Optic .Com ./ hehd.htm

DESIGN OF MULTI-BAND REFLECTORS ADAPTING THE CONCEPT OF STACK

Haifa 'a Gh. Rashid

Physics Department-College of Education-Al-Mustansiryiah University

Abstract

Double and triple band reflectors were designed using the concept of stack. The effect of either thickness ratios (p:q) or index materials on the high reflectance peak had been studied . The study was applied to the visible and infrared spectral regions adapting the modified characteristic matrix theory restricted to near-normal incidence of light on dielectric , homogenous and isotropic multilayer thin film. Results illustrated that, using the stack concept , the control of peak position was the bases for designing dual and triple band reflectors furthermore the building block of other types of optical filters.