

رقم الترتيب:....  
رقم التسلسل:...

# جامعة قاصدي مرباح ورقلة



كلية العلوم و علوم المهندس

قسم العلوم الفيزيائية

مذكرة

لنيل شهادة الماجستير

تخصص: فيزياء

فرع: مادة-إشعاع

من إعداد الطالبة: بوراس ليلي

## العنوان:

دراسة تأثير معاملات شبكة براغ المنتظمة على تحسين الانتقائية الطيفية في  
الموجّهات الضوئية المدمجة  
تطبيق: تجويف رنين لليزر مدمج

نوقشت يوم 18 / 09 / 2006

أمام أعضاء لجنة المناقشة المكونة من:

رئيسا	جامعة قاصدي مرباح بورقلة	أستاذ تعليم عالي	-مفتاح محمد الطيب
مناقشا	مركز الجامعي بالوادي	أستاذ تعليم عالي	- سعد الله إبراهيم
مناقشا	جامعة قاصدي مرباح بورقلة	أستاذ محاضر	- بوكراع عمار
مؤطرا	جامعة قاصدي مرباح بورقلة	أستاذ محاضر	- رحومة فرحات
مدعو	جامعة قاصدي مرباح بورقلة	أستاذ م.م. بالدروس	- عيادي كمال الدين

# الإهداء

((اللَّهُمَّ إِنِّي أَسْأَلُكَ، عِلْماً نَافِعاً، وَ رِزْقاً طَيِّباً، وَ عَمَلاً مُتَقَبِلاً ))

إلى نوري قلبي **والدي الكريمين** ، أسأل الله أن يوفقني إلى برّهما، إلى اخوتي

الغاليين **أحمد، علي، ثريا، رفيقة، محمد، أعلام، نوال، مبروكة نورة،**

**صونيا، إيمان، ياسين، عبد العالي**

إلى **الأحباء بشار و دعاء**

إلى عائلة **بوراس و عائلة ادريهم**

إلى **نجاة، فيروز، هناء، حدي، سعاد، سعيدة، فطيمة، خزانة، فضيلة مسعودة**

**صابرية، حنان، زهية، فتيحة.**

وكل **الصديقات .... و الزملاء.**

# تشكرات

إنه لمن دواعي الاعتراف أن أتقدم بشكري الخالص إلى كل من ساعدني في إعداد هذه المذكرة و أخص بالذكر:

الأستاذين المشرفين أ.رحومة فرحات أستاذ محاضر بجامعة ورقلة و أ. كمال الدين عيادي أستاذ مساعد مكلف بالدروس بجامعة ورقلة. أتقدم بجزيل الشكر لهما على قبولهما الإشراف على هذا العمل و على التشجيع الدائم و جميل الصبر في هذا المشوار الدراسي. لجنة المناقشة:

رئيس اللجنة أ.مفتاح الطيب أستاذ تعليم عالي بجامعة ورقلة،الذي أسعدني بتأس لجنة مناقشة هذه الرسالة .

الأستاذين المناقشين أ. سعد الله إبراهيم أستاذ تعليم عالي بالمركز الجامعي الوادي أ.بوكراع عمار أستاذ محاضر بجامعة ورقلة، على موافقتهما مناقشة هذه المذكرة. إلى الأستاذة الكرام:

د.شبحي إسماعيل، محمد بلفار، زكرياء تجاني، محمد تحة، بركان حسيبة ماجدة ملودي، خيارى ليلي.

إلى الغالية سميرة و زكية.

زملاء الدفعة تخصص مادة-إشعاع :

ز.بله ، ح.عبابسة ، س.حرزلي ، أ.نعام ، س.لمقدم ، ا.غربي .

فوج بحث الكهروضوئي:

ع.بن طويلة ، م.غوقالي ، ر.بوعنان.

الشكر الجزيل إلى عمال الإدارة قسم الفيزياء خاصة بوعافية محمد و لزهري بشكي و عمال المكتبة المركزية وأخص أ. سعيد ونيسي، حاتم .

إلى كل من ساعدني..... شكراً

# الفهرس

الصفحة  
ة

المحتوى

إهداء .....	
تشكرات .....	
مدخل عام .....	01
<b>الفصل الأول :</b>	
<b>الانتشار الموجّه للضوء</b>	
توطئة .....	03
1-1-I سلوكية الضوء عند الحد الفاصل بين وسطين .....	03
1-1-I-1 الانعكاس و الانكسار .....	03
1-1-I-2 الانعكاس الكلي .....	04
2-I-2 معادلات ماكسويل .....	06
1-2-I-1 معامل الانعكاس و الانكسار للموجة عند الحد الفاصل .....	07
1-1-2-1 استقطاب الموجة الكهربائية العرضية .....	08
2-1-2-2 استقطاب الموجة المغناطيسية العرضية .....	09
.....	
3-I-3 انتشار الضوء في الموجّهات الضوئية .....	10
1-3-I-1 انتشار الضوء في الموجّهات المستوية العازلة ذات قرينة انكسار ثابتة .....	11
1-3-I-1 مفاهيم أساسية .....	13
2-3-I-2 التقريب الهندسي .....	14
2-2-3-I عدد الصيغ .....	16
4-I-4 التقريب الموجي .....	16
1-4-I-1 معادلة التشتت .....	16
2-4-I-2 طاقة بوتينغ لصيغ الموجّهه .....	20
3-4-I-3 منحى التشتت .....	22
5-I-5 ملخص .....	23
المراجع .....	24

## الفصل الثاني :

### الدراسة النظرية لشبكة براغ المنتظمة المدمجة

25	تمهيد .....
25	II-1-1 مبدأ الترشيح .....
26	II-2-2 الشبكات العاكسة .....
27	II-1-2-1 شرط براغ .....
27	II-2-2-2 أنواع شبكات براغ .....
27	2-2-1 شبكات براغ المنقوشة سطحيا: .....
28	2-2-2 شبكات براغ الحساسة للضوء .....
28	2-2-3 شبكات براغ ثنائية الطبقات .....
29	II-3-3 الدراسة النظرية لانتشار الضوء في بنية مضطربة .....
29	II-1-3-1 علاقة التعاكس للورانتز (Lorentz) .....
30	II-2-3-2 نظرية الصيغ المرتبطة .....
32	II-4-4 الدراسة النظرية للشبكات براغ المنتظمة المدمجة .....
32	II-1-4-1 التحليل النظري .....
34	II-2-4-2 معادلات الصيغ المرتبطة .....
36	II-3-4-3 الشروط الحدية للشبكات براغ المنتظمة: .....
37	II-4-4-4 الطاقة المنعكسة و العابرة للشبكة .....
40	II-5-4-5 معامل الارتباط .....
40	II-5-5 تقنية صناعة الموجهات في الضوء الدمج .....
42	II-6-6 التقنيات الصناعية لشبكات براغ .....
42	II-1-6-1 طريقة الطباعة الضوئية باستعمال التداخل .....
44	II-2-6-2 طريقة القناع الصلب .....
47	II-7-7 تطبيقات شبكات براغ .....
47	II-8-8 ملخص .....
48	المراجع .....

## الفصل الثالث :

### المحاكاة العددية للظاهرة الانعكاس للشبكات براغ المنتظمة المدمجة

50	تمهيد .....
50	III-1- محاكاة الظاهرة .....
54	III-2- شبكات براغ المنقوشة سطحياً .....
54	III-1-2- تأثير قرينة الانكسار الطبقة الموجهة .....
	..... $n_g$
54	III-2-2- تأثير ارتفاع شبكة براغ $h$ .....
54	III-3-2- تأثير الطول $L$ .....
55	III-3-2- تأثير نسبة الدور $D$ للطبقة الموجهة .....
56	III-5-2- تأثير الطبقة العليا $n_a$ .....
56	III-6-2- تأثير السمك $d$ و الارتفاع $h$ .....
63	III-3- شبكات براغ الحساسة للضوء .....
63	III-1-3- تأثير تغير قرينة الانكسار $\Delta n$ .....
63	III-2-3- تأثير طول الشبكة $L$ .....
67	III-4- خصائص طيف الانعكاس لشبكات براغ المدمجة المتجانسة .....
	.....
67	III-1-4- عرض الحزمة: .....
69	III-2-4- الطاقة المنعكسة الأعظمية: .....
70	III-5- مصداقية برنـــــامـــــج المحاكـــــة المنجـــــمـــــز .....
	.....
72	III-6- تحليل النتائج .....
73	III-7- ملخص .....
74	المراجع .....

## الفصل الرابع :

### تطبيق شبكة براغ : التجويف الرنين ليزر المدمج

75	تمهيد .....
75	IV-1- الليزر .....
76	IV-2- الليزر المدمج .....
76	IV-1-2- الوسط المضخم .....
77	2-1-1- الزجاج الفوسفاتي المطعم بعناصر الأرض النادرة .....
78	IV-2-2- تجويف الرنين (المرنان) الليزر: .....
78	2-2-1- أنواع تجويف الرنين في الضوء المدمج: .....

78	.....IV-2-3-مرايا براغ
81	.....IV-3- ملخص
82	.....المراجع:

83	.....الخلاصة العامة
----	---------------------

84	.....الآفاق المقترحة في هذا العمل
----	-----------------------------------

# قائمة الأشكال

الصفحة

عنوان ورقم الشكل

## الفصل الأول: الانتشار الموجّه للضوء

	الشكل(1-I):مخطط للأشعة الضوئية الواردة و المنعكسة و النافذة عند الحد الفاصل بين الوسطين.....	04
	الشكل(2-I): حالتي انكسار الشعاع الضوئي عند الحد الفاصل بين الوسطين.....	05
	الشكل(3-I): مخطط الانعكاس الكلي للشعاع الضوئي.....	05
	الشكل(4-I): استقطاب الموجة الكهربائية العرضية.....	08
	الشكل(5-I): استقطاب الموجة المغناطيسية العرضية.....	09
	الشكل(6-I): أنواع قناة الموجّه الضوئية.....	10
	الشكل(7-I): الموجّه الضوئي المستوي العازل المدمج.....	11
	الشكل(8-I): مبدأالانعكاس الكلي للضوء داخل الموجة المستوي.....	12
	الشكل(9-I): تخامد سعة الحقل الكهربائي.....	14
	الشكل(10-I): مخطط التقريب الهندسي للشعاع الضوئي .....	15
	الشكل(11-I): منحنى التشتت للزجاج السليكاتي من أجل $[n_g = 1.44 \quad n_s = 1.47]$	21
	الشكل(12-I): منحنى التشتت للزجاج الفوسفاتي من اجل $[n_g = 1.51 \quad n_s = 1.6]$ ..	21
	الشكل(13-I): اهتزاز الموجة داخل الموجّه للثلاث الصيغ الأولى.....	21

## الفصل الثاني: الدراسة النظرية لشبكة براغ المنتظمة المدمجة

	الشكل(1-II): مبدأ الترشيح لبراغ.....	26
	الشكل(2-II): مخطط شبكات براغ أ-المنتظمة، ب- الغير المنتظمة.....	26

27	الشكل(II-3): أنواع شبكات المنقوشة سطحياً أ-المثلثية،ب-المستطوية ،ب- الجيبية.....
32	الشكل(II-4): الشبكات العاكسة لبعدين (x, z).....
33	الشكل(II-5): 1-دالة الاضطراب -2-بنية غير مضطربة -3-شبكة براغ.....
37	الشكل(II-6): الشروط الحدية لشبكة براغ.....
39	الشكل(II-7): طيف الانعكاس لشبكات براغ المنتظمة لأربعة معاملات ارتباط مختلفة....
41	الشكل(II-8): مخطط مراحل تحقيق موجّه ضوئي على السطح بواسطة تقنية التبادل الأيوني..
43	الشكل(II-9): مخطط يمثل الطباعة الضوئية باستعمال التداخل.....
43	الشكل(II-10): مخطط يمثل التركيب التحريبي لطريقة الطباعة الضوئية.....
46	الشكل(II-11): مخطط مراحل صناعة شبكة براغ المنقوشة السطحية بطريقة القناع الصلب
46	الشكل(II-12): صورة بالمجهر الالكتروني لشبكة براغ مستطيلة.....
46	الشكل(II-13): صورة بالمجهر الالكتروني لشبكة براغ مثلثية.....

## الفصل الثالث: المحاكاة العددية لظاهرة الانعكاس للشبكات براغ

### المنتظمة

51	الشكل(III-1): المخطط العام للبرنامج المحاكاة العددية.....
53	الشكل(III-2): مخطط برنامج المحاكاة العددية.....
	الشكل(III-3): تأثير قرينة الانكسار الطبقة الموجهة على طيف الانعكاس عند
57	..... $\lambda_B = 1.550\mu m$
	الشكل(III-4): تأثير قرينة الانكسار الطبقة الموجهة على طيف الانعكاس عند
57	..... $\lambda_B = 1.300\mu m$
58	الشكل(III-5): تأثير الارتفاع على طيف الانعكاس عند $\lambda_B = 1.550\mu m$ .....
58	الشكل(III-6): تأثير الارتفاع على طيف الانعكاس عند $\lambda_B = 1.30\mu m$ .....
59	الشكل(III-7): تأثير طول الشبكة على طيف الانعكاس عند $\lambda_B = 1.550\mu m$ .....
59	الشكل(III-8): تأثير طول الشبكة على طيف الانعكاس عند $\lambda_B = 1.300\mu m$ .....
55	الشكل(III-9): نسبة الخطوة للطبقة الموجهة أ- 20% -ب- 50% -ج- 70%.....
60	الشكل(III-10): تأثير الدور على طيف الانعكاس عند $\lambda_B = 1.550\mu m$ .....

- 60 ..... الشكل(III-11): تأثير الدور على طيف الانعكاس عند  $\lambda_B = 1.300\mu m$  .....
- ..... الشكل(III-12): تأثير قرينة الانكسار الطبقة العليا على طيف الانعكاس عند
- 61 .....  $\lambda_B = 1.550\mu m$  .....
- ..... الشكل (III-13): تأثير قرينة الانكسار الطبقة العليا على طيف الانعكاس عند
- 61 .....  $\lambda_B = 1.300\mu m$  .....
- ..... الشكل(III-14): طيف الانعكاس من اجل  $h = 1\mu m$   $d = 10\mu m$  عند
- 62 .....  $\lambda_B = 1.550\mu m$  .....
- 62 ..... الشكل(III-15): طيف العبور للشبكة عند  $\lambda_B = 1.550\mu m$  .....
- 65 ..... الشكل(III-16) : طيف الانعكاس براغ لاربعة قيم لتغير قرينة الانكسار.....
- 66 ..... الشكل(III-17) : طيف الانعكاس من اجل طول الشبكة  $L = 5000\mu m$  .....
- 67 ..... الشكل(III-18): تغير طيف الانعكاس كدالة للأطوال الموجية و تغير قرينة الانكسار  $\Delta n$  ..
- 68 ..... الشكل(III-19): تغير طيف الانعكاس كدالة للأطوال الموجية وطول الشبكة  $L$  .....
- 70 ..... الشكل(III-20): القدرة المنعكسة الاعظمية كدالة لتغير قرينة الانكسار.....
- 70 ..... الشكل(III-21): القدرة المنعكسة الاعظمية كدالة لتغير طول الشبكة.....
- 73 ..... الشكل(III-22): مخطط توضع طبقة فوق الطبقة الموجهة.....

## الفصل الرابع: تطبيق شبكة براغ: التجويف الرنين ليزر مدمج

- 76 ..... الشكل(IV-1): المخطط المقترح لليزر المدمج.....
- ..... الشكل(IV-2): طيف الانبعاث للانتقالات الإشعاعية  $I_{15/2} \rightarrow I_{13/2}$  لعنصر  $Er$  للزجاج
- 77 ..... الفوسفاتي المطعم بـ  $Er$  .....
- 80 ..... الشكل(IV-3): مرآة براغ عاكسة كلياً.....
- ..... الشكل(IV-4): مرآة براغ عاكسة جزئياً.....

# قائمة الجداول

رقم الصفحة

عنوان و رقم الجدول

71	..... جدول(III-1): مقارنة النتائج للشبكات الحساسة للضوء.....
71	..... جدول(III-2) مقارنة النتائج للشبكات المنقوشة سطحيا.....

## الخلاصة العامة

أظهرت الدراسة أن شبكات براغ المنتظمة من أهم التقنيات المستعملة للترشيح الضوئي. هذا الترشيح يعتمد على ظاهرة الانعكاس في هذه الشبكات. نسبة الانعكاس و عرض الحزمة يتأثر بمعاملات عدة وهي: قرينة انكسار الطبقة الموجهة، ارتفاع الشبكة، طول الشبكة، نسبة الخطوة، قرينة انكسار الطبقة العليا و التغير في قرينة الانكسار.

المحاكاة العددية للظاهرة بينت أن الزيادة في فرق قرينة الانكسار بين الطبقة الموجهة و الفراغ و ارتفاع الشبكة هذان العاملان يتسببان في زيادة في نسبة الانعكاس والعرض الحزمة للطيف بحيث تصل نسبة الانعكاس عند  $\Delta n = 0.5$  إلى 100%. و نفس التصرف بالنسبة إلى الارتفاع. أما طول الشبكة فزيادته تزيد نسبة الانعكاس، في حين الانتقائية تكون أحسن. المعامل الأهم في تحسين الانتقائية هو الفرق في قرينة الانكسار بين الطبقة الموجهة و الطبقة العليا، كلما كان الفرق صغيرا، كانت الانتقائية عالية لكن نسبة الانعكاس صغيرة. هذه النسبة يمكن تحسينها باستغلال المعاملات الأخرى.

التقنيات المستعملة لصناعة الشبكات كثيرة و منها طريقة الطباعة الضوئية و طريقة القناع

الصلب التي تستعمل في الشبكات المنقوشة سطحيا. التقنية الأخيرة تعتبر أقل دقة، وذلك لصعوبة التحكم في عوامل الشبكة عند التحقيق العملي.

هذه الشبكات يمكن استغلالها لتحقيق تجويف رنيني لليزر مدمج و اقترحنا في نهاية هذا

العمل بعض الشروط لذلك.

أظهرنا من خلال هذه الدراسة ، أنه باستعمال شبكة براغ المنتظمة يمكن تحقيق مركبتين و

هما مرشح ضوئي و تجويف رنيني الذي يدخل في تركيب مصدر ضوئي، هذه المركبات يمكن

المساهمة في تحقيق الاتصال الكل ضوئي.

## الاقتراحات :

يمكن أن تعمق الدراسة في هذا الموضوع بدراسة شبكات براغ الغير منتظمة و تأثير المعاملات سابقة الذكر على نسبة الانعكاس و الانتقائية الطيفية

## مدخل عام

عرفت تقنيات الاتصالات، خلال القرن العشرين، تطورا مشهودا، و ذلك استجابة إلى الحاجة المتزايدة في سعة و سرعة المعلومات. فبظهور الليزر سنة 1960 فرضت الاتصالات الضوئية نفسها وذلك لاستعمالها الألياف الضوئية كحامل طبيعي للمعلومات. وذلك لمميزات الألياف الضوئية المتعددة [1] و نذكر منها:

- سرعة نقل عالية للإشارة.
- سعة إرسال عالية.
- غير حساسة للتأثيرات الكهرومغناطيسية.
- توهين ضعيف ( $0.2 \text{ dB/cm}$ ) أي فقدان ضعيف للطاقة خلال الانتشار.
- عدم حساسية للاستقطاب.

يتكون نظام الاتصالات الضوئية من ثلاث عناصر أساسية و هم : مصدر الإشارة الضوئية (الباعث) و حامل الإشارة (الألياف) و المستقبل للإشارة. يحدث عند انتقال الإشارة عبر هذا الحامل لعشرات الكيلومترات توهين فرغم ضعفه يصبح معتبرا. استدعى هذا الأمر إلى إدخال مركب وسيط في نظام الاتصالات لتضخيم الإشارة. كانت عملية التضخيم في الثمانينات الكترونيًا: الإشارة الضوئية تحول إلى إشارة كهربائية و تضخم ثم تحول مرة ثانية إلى إشارة ضوئية. إن إدراج هذا المركب الإلكتروني الوسيط في نظام الاتصالات الضوئية يقلل من كفاءتها و ذلك بإظهاره سلبيات عديدة [2] منها: توليد ضجيج إضافي، حساسية للاستقطاب و التقليل من حزمة الإمرار. تحدث هذه السلبيات كذلك عند استعمال مركبات الكترونية لمعالجة الإشارة الضوئية عند الأطراف الحامل، مثل مقسمات، مركبات و مرشحات الإشارة.

اتجه التفكير من أجل هذا، في نظم اتصالات الكل ضوئي من المصدر إلى المستقبل مروراً بالحامل و المركبات الوسيطة.

تكنولوجيا الضوء المدمج من بين التقنيات التي تم تطويرها في هذا الميدان، حيث نجد هناك تنافس كبير بين الجامعات و المخابر الصناعية لصناعة و تطوير المركبات الضوئية المدمجة التي تسمح بمعالجة الإشارة الضوئية.

تعتبر المرشحات من بين المركبات الضوئية المهمة لمعالجة الإشارة الضوئية عند الأطراف، تتمثل الوظيفة الضوئية لهذه الأخيرة في الترشيح ونعني به السماح لأطوال موجية معينة بالانتشار و منع أطوال موجية أخرى ، هذه الأخيرة تنعكس إلى الخلف.

يعتبر عملنا مساهمة في تطوير نظام الكل الضوئي المدمج، حيث درسنا شبكات براغ المنتظمة المدمجة بأنواعها، التي يمكن أن تكون مرشحاً من جهة، و عاكس الموجة الضوئية من جهة أخرى.

استغلينا الوظيفة الضوئية لشبكات براغ المتمثلة في عاكس الموجة الضوئية في ميادين الكهروضوئي المختلفة ، و ذلك بتطبيقها في تجويف الرنين لأجل تحقيق ليزر مدمج يعمل لأطوال موجية مختلفة.

نقوم في هذا العمل بدراسة نظرية و عددية لظاهرة الانعكاس لشبكات براغ المنتظمة في الموجّهات الضوئية المدمجة لأجل تحسين الانتقائية الطيفية. و نتبع الخطوات التالية:

الفصل الأول: نعرض دراسة انتشار الضوء في الموجّهات الضوئية المستوية و هذا باستعمال التقريب الهندسي و الموجي .

الفصل الثاني: نتناول الدراسة النظرية لانتشار الضوء في وسط مضطرب و المتمثل في الشبكات العاكسة، و نتطرق إلى الجانب الصناعي لها، والذي سنعرض فيه بعض التقنيات لتحقيق هذه الشبكات.

الفصل الثالث: نقوم بمحاكاة ظاهرة الانعكاس و ذلك لمعرفة تأثير بعض المعاملات المميزة للشبكة على الانتقائية الطيفية وهذا لنوعين من شبكات براغ المنقوشة سطحياً و الحساسة للضوء .

في الفصل الأخير و حسب النتائج المحصل عليها و خصائص كل تقنية صناعية لشبكة براغ سنتطرق إلى إحدى تطبيقات هذه الشبكات، و نعرض أهم الآفاق الموضوعية لأجل أعمال بحث متواصلة في هذا العمل.

## توطئة:

لقد اعتبر نيوتن الضوء كتدفق جسيمات بينما اعتبرها هويغنز كعملية موجية. يشير الفعل الكهروضوئي وكذلك فعل كومبتون إلى ضرورة اعتبار الضوء مؤلفاً من جسيمات مادية موضعية لكن ذلك لا يعطي تفسيراً لظواهر الانعراج و التداخل للضوء، حيث ينبغي اعتباره شكلاً من أشكال الحركة الموجية فهو موجة كهرومغناطيسية [3]. أين يمكن تمثيله كاهتزاز للحقل الكهربائي و الحقل المغناطيسي، إذا فالتصورين الجسيمي و الموجي للضوء متلازمين وهذا ما يسمى بازدواجية الضوء. عند انتشار الأمواج الكهرومغناطيسية في وسط مادي، تحدث تأثيرات متبادلة بينها و بين المادة: فالإشعاع يؤثر على المادة، و يتأثر عند عبوره لها.

تعتمد تأثيرات الإشعاع على طبيعة المادة و على توترات الإشعاع الواردة، تتغير حالة المادة عند تعرضها للإشعاع، و يُعزى ذلك إلى الطاقة الإشعاعية التي ستكتسبها إلكتروناتها. من بين الظواهر التي تحدث للإشعاع عند عبوره وسط مادي ظاهري الانعكاس و الانكسار. في هذا الفصل سنقوم بعرض تفصيلي لانتشار الضوء في الموجهات الضوئية المستوية ذات بنية متجانسة و متماثلة المناحي، وذلك باستعمال التقريبيين الهندسي و الموجي.

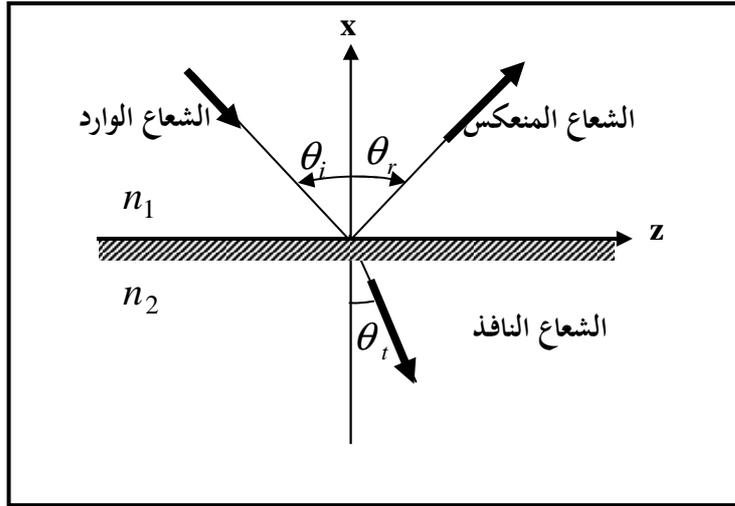
## I-1- سلوكية الضوء عند الحد الفاصل بين وسطين

## I-1-1- الانعكاس و الانكسار:

عند سقوط شعاع ضوئي على حد فاصل بين الوسطين الأول والثاني كما هو في الشكل (I-1)، قرينتا انكسارهما على التوالي  $n_1$ ،  $n_2$  بزواوية ورود  $\theta_i$  مع الشعاع الناظم على السطح فإن جزءاً منه ينفذ إلى الوسط الثاني بزواوية انكسار  $\theta_r$ ، بينما ينعكس جزءه الآخر في الوسط الأول بزواوية انعكاس  $\theta_r$ .

تُعرّف قرينة الانكسار لكل وسط  $n$  بالنسبة بين سرعة انتشار الضوء في الفراغ  $c$  و سرعة

$$n = \frac{c}{v} \quad \text{و تكتب كما يلي:}$$



الشكل (1-I): الأشعة الضوئية الواردة و المنعكسة و النافذة عند الحد الفاصل بين الوسطين

تمثل العلاقة التي تربط بين زاوية الورود و الانعكاس و الانكسار بثلاثة قوانين، تعرف بقوانين سنال-ديكارت [4] و هي:

• يقع الشعاع الوارد و المنعكس و النافذ في مستوٍ واحد مع الناظم على السطح عند موضع الورود.

• زاوية الانعكاس تساوي زاوية الورود:  $\theta_i = \theta_r$

• ترتبط زاويتا الورود و الانكسار بالعلاقة:  $n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_t$

### 1-I-2- الانعكاس الكلي :

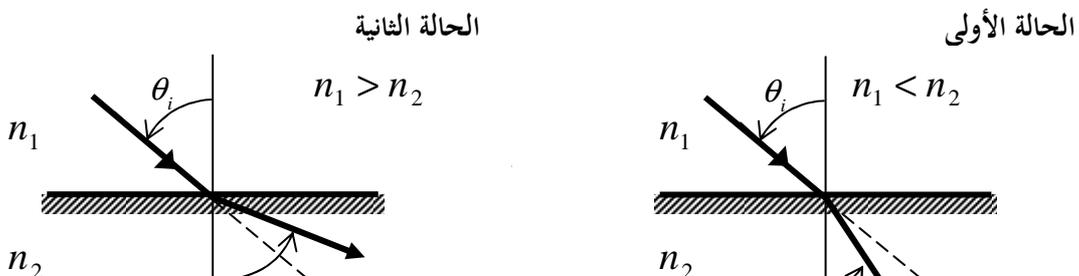
كما يوضح الشكل (I-2) حالتي لانكسار الضوء عند الحد الفاصل للوسطين. الحالة الأولى

$n_2 > n_1$ : فإنه  $\theta_t > \theta_i$  و هذا يحقق دوما انكسار للشعاع الضوئي الوارد في الوسط الثاني.

الحالة الثانية  $n_1 > n_2$ : فإن زاوية الانكسار تكون أكبر من زاوية الورود، فعند زاوية ورود حدية فان

زاوية الانكسار ستصل إلى القيمة  $\theta_t = \frac{\pi}{2}$ ، فيكتب قانون سنال-ديكارت الثالث بالعلاقة الآتية:

$$\sin \theta_i = \frac{n_2}{n_1} \quad (1.I)$$

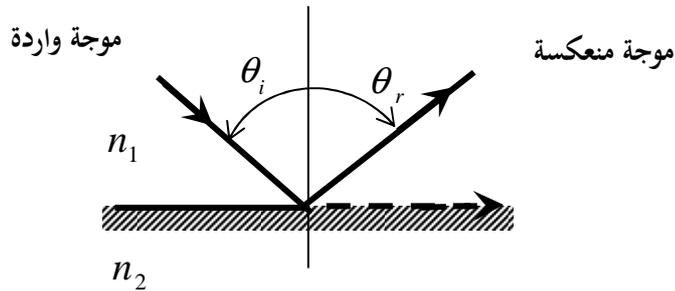


الشكل (I-2): حالي انكسار الشعاع الضوئي عند الحد الفاصل بين الوسطين

تسمى  $\theta_i$  بالزاوية الحدية، و حالتها الفيزيائية ممثلة بالشكل (I-3). إذا كانت زاوية الورود أكبر من الزاوية الحدية  $\theta_i > \theta_c$ ، فإن قانون سنال-ديكارت الثالث يفقد معناه لأن:

$$\sin \theta_i > 1 \quad (2.I)$$

و هذا يقودنا إلى المستحيل و منه لا يوجد شعاع منكسر و نقول انه يحدث انعكاس كلي لكل للأشعة الضوئية الواردة بزاوية ورود أكبر من الزاوية الحدية  $\theta_c$ .



الشكل (I-3): الانعكاس الكلي للشعاع الضوئي

تُعرف خصائص الحقول الكهربائية و المغناطيسية في الكهرومغناطيسية بأربع معادلات لِمَاكسويل [5]، و تكتب كما يلي:

$$\operatorname{div} \vec{D} = \vec{\nabla} \cdot \vec{D} = \rho \quad (3.I)$$

$$\operatorname{div} \vec{B} = \vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad (4.I)$$

$$\operatorname{rot} \vec{E} = \vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (5.I)$$

$$\operatorname{rot} \vec{H} = \vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (6.I)$$

حيث:

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E} \quad \text{يمثل شعاع التحريض الكهربائي ويكتب:}$$

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \quad \text{يمثل شعاع التحريض المغناطيسي ويكتب:}$$

$\epsilon$ : السماحية.

$\mu$ : النفاذية.

$$\rho$$
: كثافة الشحنة الكهربائية. في الفراغ:  $\epsilon = \epsilon_0$ ,  $\mu = \mu_0$

في غياب الشحنة الكهربائية  $\rho$  و كثافة التيار  $j$  تصبح المعادلات (3.I) و (6.I) كما يلي:

$$\operatorname{div} \vec{D} = 0 \quad (7.I)$$

$$\operatorname{rot} \vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (8.I)$$

بالتأثير على طرفي المعادلة (5.I) بمؤثر الدوران (rot)، و باستخدام العلاقة الشعاعية نجد:

$$\operatorname{rot} (\operatorname{rot} \vec{E}) = \operatorname{grad} (\operatorname{div} \vec{E}) - \nabla^2 \vec{E}$$

$$\Delta \vec{E} (r,t) - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \vec{E} (r,t)}{\partial t^2} = 0 \quad (9.I)$$

وبالإجراء نفسه على المعادلة (8.I) ينتج:

$$\Delta \vec{B} (r,t) - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \vec{B} (r,t)}{\partial t^2} = 0 \quad (10.I)$$

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} : \text{تمثل سرعة انتشار الضوء في الفراغ.}$$

تُعرّف المعادلتان (9.I) و (10.I) بمعادلة الموجة الكهرومغناطيسية .

الشكل العام لحل (9.I) يكتب [5] كما يلي :

$$\vec{E}(r, t) = \vec{e}_0 \exp i(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r}) + \vec{e}_0 \exp i(\omega t + \vec{k} \cdot \vec{r}) \quad (11.I)$$

حيث:  $e_0$ : سعة الحقل الكهربائي.

$\vec{r}$ : شعاع الموضع.

$\omega$ : النبض.

$k$ : شعاع الموجة و يكتب:  $k = \frac{\omega}{v}$ .

للمعادلة (10.I) نفس شكل الحل (9.I).

**I-2-1- معامل الانعكاس و الانكسار للموجة عند الحد الفاصل :**

تُعرّف معامل انعكاس الموجة بأنه النسبة بين سعة الحقل المنعكس  $e_r$  وسعة الحقل الوارد  $e_i$ ، و معامل نفاذ الموجة بأنه النسبة بين سعة الحقل المنكسر  $e_t$  وسعة الحقل الوارد [6]. تُكتب العلاقة لهذين المعاملين كما يلي:

$$r = \frac{e_r}{e_i} \quad \text{و} \quad t = \frac{e_t}{e_i}$$

تخضع الحقول الكهربائية و المغناطيسية، عند الحد الفاصل بين الوسطين الأول و الثاني

لشروط حدية تعطى بالعلاقة الآتية [6]، [7]:

$$\epsilon_1 \cdot E_n^1 - \epsilon_2 \cdot E_n^2 = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \quad (12.I)$$

$$E_t^1 - E_t^2 = 0$$

حيث:  $E_t, E_n$  المركبتان الناعمية و المماسية للحقل الكهربائي.

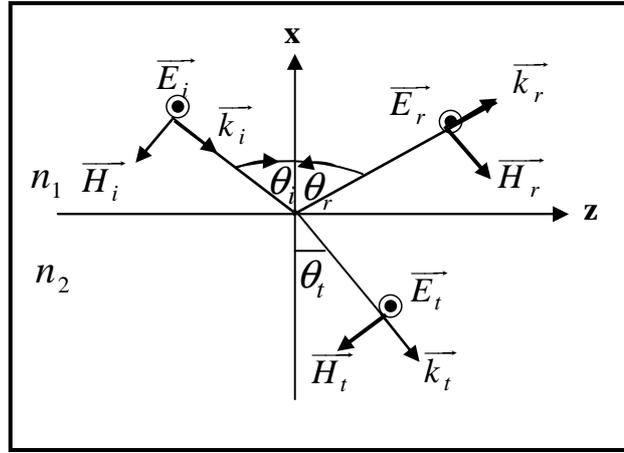
$$B_n^1 - B_n^2 = 0$$

$$\frac{B_t^1}{\mu_1} - \frac{B_t^2}{\mu_2} = \mu_0 j \quad (13.I)$$

حيث  $B_t, B_n$  المركبتان الناعمية و المماسية للحقل المغناطيسي.

و تُدعى أيضاً (12.I) و (13.I) بمعادلات الاستمرار. نميز حالتين لاستقطاب الحقل الكهربائي وهما:

2-1-1- استقطاب الموجة الكهربائية العرضية (TE): تكون الموجة الكهربائية مستقطبة عرضياً إذا كان الحقل الكهربائي عمودياً على مستوي الورود، كما في الشكل (4-I).



الشكل (4-I): استقطاب الموجة الكهربائية العرضية

مركبات الحقل الكهربائي في هذه الحالة تكون في اتجاه المحور  $y$ :  $\vec{E}(\vec{0}, \vec{E}_y, \vec{0})$   
بتطبيق الشروط الحدية عند الحد الفاصل للوسطين  $x = 0$  نجد:

$$\begin{cases} (\vec{E}_i + \vec{E}_r)_1 = (\vec{E}_t)_2 \\ (\vec{H}_i + \vec{H}_r)_1 = (\vec{H}_t)_2 \end{cases}$$

بالإسقاط على المحاور  $x, z$  وباستعمال العلاقة:  $\vec{E} = \frac{\vec{k} \times \vec{B}}{\omega}$  نجد:

$$\begin{cases} 1 + r = t \\ n_1 \cos \theta_i - r \cdot n_1 \cos \theta_r = t \cdot n_2 \cos \theta_t \end{cases}$$

معامل الانعكاس للموجة (TE):

$$r_{TE} = \frac{n_1 \cos \theta_i - n_2 \cos \theta_t}{n_1 \cos \theta_i + n_2 \cos \theta_t} \quad (14.I)$$

معامل الانكسار للموجة (TE) :

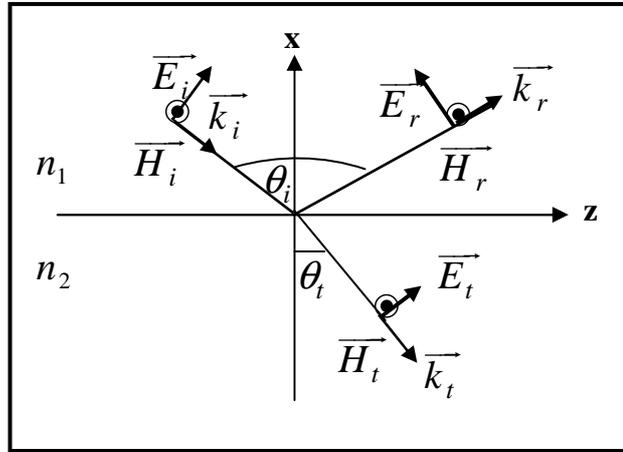
$$t_{TE} = \frac{2n_1 \cos \theta_i}{n_1 \cos \theta_i + n_2 \cos \theta_t} \quad (15.I)$$

نعرف معامل انعكاس و انبعاث الطاقة كما يلي [6]:

$$R_{TE} = |r_{TE}|^2 \quad (16.I)$$

$$T_{TE} = \frac{n_2 \cos \theta_t}{n_1 \cos \theta_i} |t_{TE}|^2$$

2-1-2- استقطاب الموجة المغناطيسية العرضية (TM): تكون الموجة المغناطيسية مستقطبة عرضياً إذا كان الحقل المغناطيسي عمودياً على مستوي الورود، الشكل (5-I).



الشكل (5-I): استقطاب الموجة المغناطيسية العرضية

نفس طريقة الحساب نجد معاملات الانكسار و الانعكاس في حالة (TM) :

$$r_{TM} = \frac{n_1 \cos \theta_t - n_2 \cos \theta_i}{n_1 \cos \theta_t + n_2 \cos \theta_i} \quad (17.I)$$

$$t_{TM} = \frac{2n_1 \cos \theta_i}{n_1 \cos \theta_t + n_2 \cos \theta_i} \quad (18.I)$$

نعرف معاملات الطاقة  $R_{TM}$ ,  $T_{TM}$  [6]:

$$R_{TM} = |r_{TM}|^2 \quad (19.I)$$

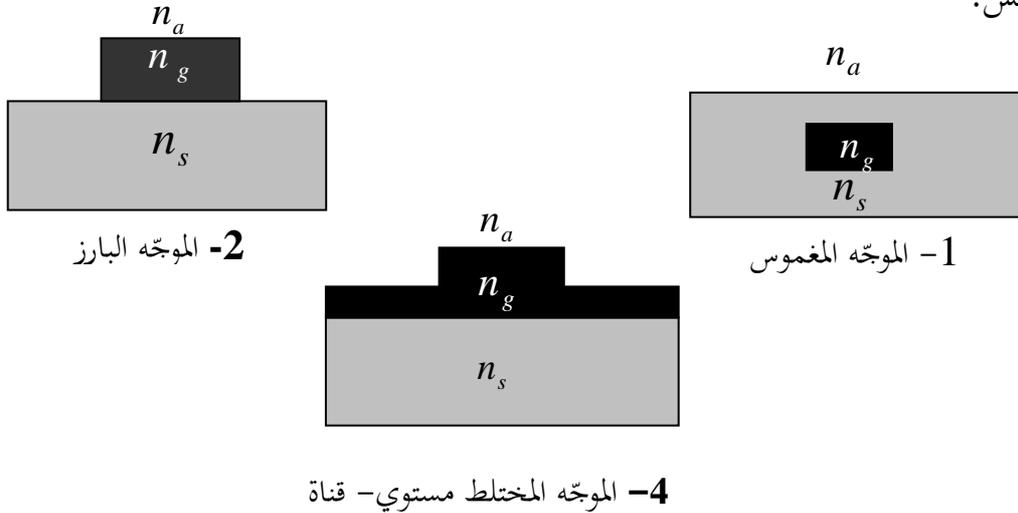
$$T_{TM} = \frac{\cos \theta_t}{\cos \theta_i} |t_{TM}|^2$$

زاوية بر وستر:

عند انعدام معامل الانعكاس  $r_{TM}$  فان الضوء لا ينعكس، و تعرف زاوية السقوط حينها بزاوية بر وستر  $\theta_B$  حيث:  $\tan \theta_B = \frac{n_2}{n_1}$ ، و يصبح للحقل الكهربائي مركبة واحدة.

### I-3- انتشار الضوء في الموجهات الضوئية

الموجهات الضوئية هي عبارة على أنظمة عازلة كهربائيا تستعمل لاحتباس الموجة الضوئية و تحديد مسارها، ومنها الموجهات المستوية و الموجهات ذات ثلاث أبعاد (قناة موجه) [7] و بعض أنواع هذه الأخيرة مبينة بالشكل (I-6)، و يمكن تحقيقها بتقنيات متعددة منها تقنية الطباعة الضوئية-النقش.



الشكل (I-6): أنواع قناة الموجه الضوئية

حيث:  $n_s, n_g, n_a$  تمثل على التوالي قرينة انكسار الطبقة العليا، الطبقة الموجهة، الشريحة.

تنقسم الموجهات الضوئية من حيث قرينة انكسارها إلى نوعين:

\* موجهات ذات قرينة انكسار ثابتة: تكون قرينة الانكسار في هذا النوع ثابتة بالنسبة إلى

الاتجاه العرضي لانتشار الضوء، حيث تنتقل الموجة الضوئية داخله بمبدأ الانعكاس الكلي عند الحد الفاصل للوسطين متخذة في ذلك مسارا منكسرا.

\* موجّهات ذات قرينة انكسار متدرجة: تنتشر الموجة في هذا الوسط الذي تكون خواصه متغيرة من نقطة إلى أخرى، أين منحني قرينة الانكسار يكون متغير بالنسبة إلى الاتجاه العرضي للانتشار، حيث تتخذ الموجة في هذا النوع من الموجّهات مسارا منحنيا [1].

### I-3-1- انتشار الضوء في الموجّهات المستوية العازلة ذات قرينة انكسار ثابتة :

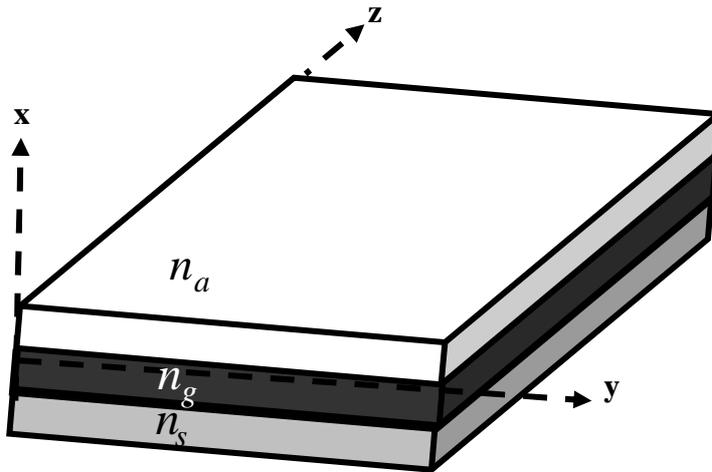
للموّجه الضوئي المستوي العازل بنية هندسية على شكل متوازي سطوح تسمح باحتباس الضوء في اتجاه واحد، و طبقتة الموجهة محشوة بين عازلين، كما هو مبين موضح في الشكل (I-7). يكتب شرط التوجيه للضوء داخل هذا الموجه [2]، [7] كما يلي:

$$n_g > n_s \geq n_a \quad (20.I)$$

علما أن:  $n_a$ : قرينة انكسار الطبقة العازلة العليا.

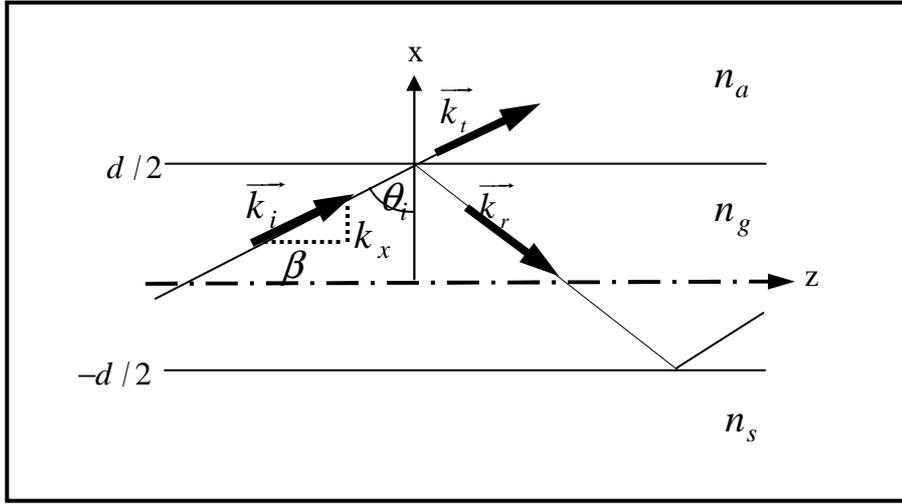
$n_g$ : قرينة انكسار الطبقة الموجهة.

$n_s$ : قرينة انكسار الطبقة العازلة الدنيا (الشريحة).



الشكل (I-7): الموجه الضوئي المستوي العازل المدمج

يخضع انتشار الضوء داخل هذه الموجّهات إلى مبدأ الانعكاس الكلي عند الحد الفاصل للوسطين الموجّه-الطبقة العليا و الموجّه-شريحة، متخذاً في ذلك مساراً منكسراً [8]، كما مبين في الشكل (8-I)، ويوصف الانتشار للشعاع الضوئي بثلاث مركبات لأشعة الموجة على المحور  $x$  و  $z$  كالآتي:



الشكل (8-I): مبدأ الانعكاس الكلي للضوء داخل الموجّه المستوي

الشعاع الموجي الوارد:  $\bar{k}_i \begin{pmatrix} +k_x \\ \beta \end{pmatrix}$  مع  $k_x = k_0 n_g \cos \theta_i$  و  $\beta = k_0 n_g \sin \theta_i$

الشعاع الموجي المنعكس:  $\bar{k}_r \begin{pmatrix} -k_x \\ \beta \end{pmatrix}$  مع  $|\bar{k}_r| = |\bar{k}_i| = k_0 n_g$  ، أين  $k_x^2 = (k_0 n_g)^2 - \beta^2$

مركبات الشعاع الموجي النافذ:

$$k_{tx} = \sqrt{(k_0 n_a)^2 - \beta^2} \quad \text{و} \quad |\bar{k}_t| = \sqrt{k_{tx}^2 + \beta^2} = k_0 n_a \quad \text{منه:}$$

باستعمال شرط الانعكاس الكلي عند الحد الفاصل للوسطين الموجّه-الطبقة العليا و الموجّه-شريحة:

$$\sin \theta_i > \frac{n_s}{n_g} \quad \text{و} \quad \sin \theta_i > \frac{n_a}{n_g} \quad \text{نجد:} \quad k_{tx} = -j\chi \quad \text{و} \quad \chi = \sqrt{\beta^2 - (k_0 n_a)^2}$$

مركبات الشعاع الموجي النافذ في الموجّه:  $\bar{k}_t \begin{pmatrix} -j\chi \\ \beta \end{pmatrix}$

نلاحظ أن المركبة على المحور  $z$  في مركبات الثلاث لأشعة الموجة تكون نفسها، و لهذا تسمى بثابت الانتشار  $\beta$  ونكتب:

$$\beta = k_0 n_g \sin \theta_i \Rightarrow \beta = k_0 n_{eff} \quad (21.I)$$

$n_{eff}$ : تمثل قرينة الانكسار الافتراضية.

### I-3-1- مفاهيم أساسية:

من المفاهيم التي تميّز انتشار الضوء في الموجّهات الضوئية:

#### \* مفهوم الصيغة:

الحزمة الضوئية الموجهة التي تعاني انعكاسات كلية متتالية عند الحد الفاصل للوسطين في الموجّه الضوئي يمكن أن تمثل كمجموعة من الأشعة الضوئية، نسمي كل شعاع ضوئي بصيغة أو نسق  $(m)$  [9]. تُميز كل صيغة بثابت انتشار  $\beta_m$  يعطي:

$$\beta_m = k_0 n_g \sin(\theta_m) = k_0 n_{eff}^{(m)} \quad m = 0, 1, 2, \dots$$

$n_{eff}^{(m)}$ : قرينة الانكسار الافتراضية للصيغة  $(m)$ .

#### \* سرعة الطور:

كل صيغة مميزة بسرعة طور  $v_p$  مرتبطة بالزاوية  $\theta_m$ . نعرف سرعة الطور [1] كما يلي:

$$v_p = \frac{\omega}{\beta}$$

في الفراغ سرعة الطور مساوية إلى سرعة الضوء  $c$ .

#### \* سرعة المجموعة:

نعرف سرعة المجموعة كدالة لثابت الانتشار [1] كما يلي:  $v_g = \left( \frac{\partial \omega}{\partial \beta} \right)$ ، وهي السرعة

الافتراضية للطاقة التي تعبر عن سرعة مرور الإشارة على طول محور انتشار الموجة.

**\*الموجة المتخامدة:**

في حالة وجود التخامد تكون عبارة الحقل الكهربائي من أجل المركبة العرضية للشعاع الموجي النافذ و بدل الحل العام (11.I) في حالة عدم وجود التخامد نكتب العبارة التالية:

$$\vec{E}_t = \vec{e}_t \exp(-\chi x) \exp i (\omega t - \beta z) \quad (22.I)$$

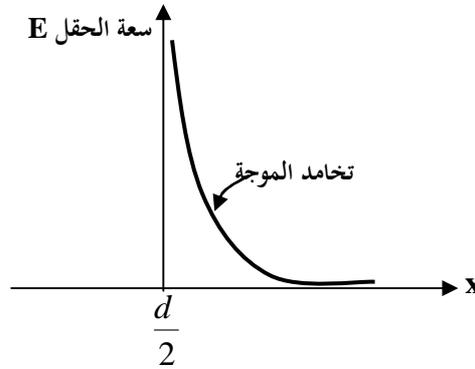
$e_t$ : سعة الحقل الكهربائي النافذ.

تعبّر العلاقة (22.I) على موجة جيبيّة منتشرة على المحور  $z$ , ومتناقصة أسياً على المحور  $x$  كما هو مبين في الشكل (9-I). يوصف هذا التغلغل للموجة في الشريحة و الطبقة العليا [10] بالعلاقة:

$$\delta_i = \frac{1}{\chi} = \frac{\lambda}{2\pi\sqrt{n_{eff}^2 - n_i^2}} \quad (23.I)$$

$\lambda$  : الطول الموجي

حيث:  $i = a, s$

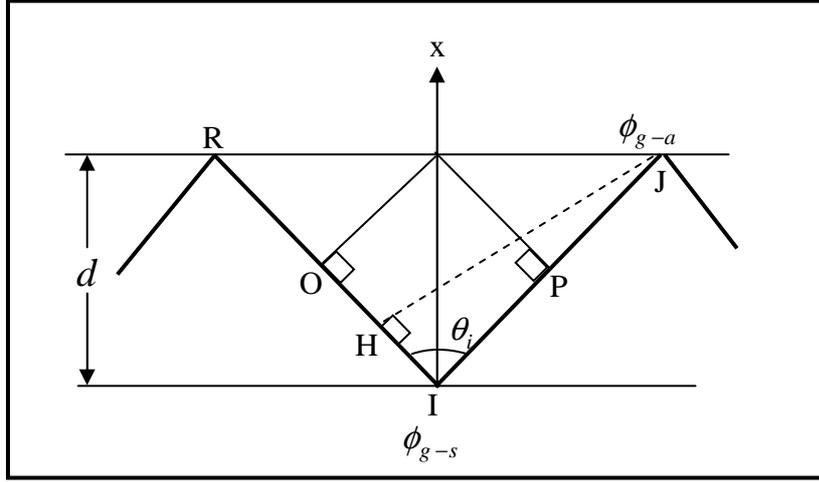


الشكل (9-I): تخامد سعة الحقل الكهربائي

**I-3-2- التقريب الهندسي :**

إضافة إلى شرط التوجيه الضوئي في الموجّه الموجي في العلاقة (20.I)، يوجد شرط آخر للأشعة الضوئية المنتشرة داخل الموجّه وهو التداخل البناء للأشعة. بحساب فرق الطور بين نقطتين  $(H, J)$  شرط أن يكونا متوافقتين في الطور لحدوث التداخل البناء يجب أن يكون الفرق في الطور يساوي عدد صحيح من  $2\pi m$  [6] ، [11].

فرق الطور الكلي للشعاع الضوئي يساوي إلى فرق الطور للمسار الضوئي  $H$  نحوي  $J$  زائد فرق الطور الناتج عن الانعكاس الكلي عند الحد الفاصل بين الوسطين الموجه- الطبقة العليا و الموجه- الشريحة فمن الشكل (10-I) نجد:



الشكل (10-I): مخطط المسار الضوئي للشعاع داخل الموجه

$$(PJ) = (RO) = (OH)$$

نجد :

$$(HIJ) = (HI) + (IJ)$$

نعرف أن:

$$\begin{aligned} (HIJ) &= (HI) + (OH) + (IP) \\ &= (OI) + (IP) = 2(OI) \end{aligned}$$

فرق الطور للمسار الضوئي يكون:  $[HIJ] = 2d \cdot n_g \cos \theta_i$

$$2d \cdot n_g \cos \theta_i - 2\phi_{g-a} - 2\phi_{g-s} = 2m\pi \quad (24.I)$$

تسمي هذه المعادلة (24.I) بمعادلة الصيغ.  $m = 0.1.2....$

حيث:

$\phi_{g-a}$ : فرق الطور الناتج عن الانعكاس الكلي عند الحد الفاصل للوسطين موجه-الطبقة العليا.

$\phi_{g-s}$ : فرق الطور الناتج عن الانعكاس الكلي عند الحد الفاصل للوسطين موجّه-شريحة.

يكون فرق الطور من أجل الاستقطاب العرضي الحقل الكهربائي و المغناطيسي بنوعيه

(TE) و (TM) كما يلي [12]:

$$\phi_{g-i} = -2\arctg \left[ \Gamma \frac{\sqrt{n_{eff}^2 - n_i^2}}{n_g \sqrt{1 - \sin^2 \theta_i}} \right] \quad (25.I)$$

حيث:

$$\Gamma \begin{cases} 1 & TE \\ n_g^2 / n_i^2 & TM \end{cases} \quad (26.I)$$

$i = a, s$

**I-3-2-2- عدد الصيغ :**

فرق الطور الناتج عن الانعكاس الكلي للحد الفاصل للوسطين يؤول إلى الصفر عند

$\theta_i = \theta_l$  نرسم إلى  $N_m$  بعدد الصيغ التي يمكنها الانتشار في الموجّه الضوئي:

$$N_m = \frac{k_0 d \sqrt{n_g^2 - n_s^2}}{\pi} \quad (27.I)$$

**I-4- التقريب الموجي:**

إذا اعتبرنا الآن الضوء كموجة كهرومغناطيسية تهتز بتواتر  $\omega$  و طول موجي  $\lambda$ ، نجد معادلة

الصيغ للموجّه .

**I-4-1- معادلة الصيغ :**

في الموجّهات الضوئية المستوية يكون الضوء مستقطبا خطيا أي يكون اتجاه الحقل الكهربائي

في اتجاه ثابت و ليكن  $x$ ، في هذه الحالة التغير بالنسبة إلى  $y$  معدوم:  $\frac{\partial}{\partial y} = 0$ .

يمكننا فصل مركبة الحقل الكهربائي و المغناطيسي إلى مركبة عرضية أي تنتشر في الاتجاه

العرضي  $(x, y)$  و مركبة طولية تنتشر على طول محور الانتشار  $z$  [7] و تكتب كما يلي :

$$E = E_t + E_z \quad (28.I)$$

$$H = H_t + H_z$$

نكتب صيغة الحقول كما يلي:

$$E = e(x, y) \exp(-i \beta z) \quad (29.I)$$

$$H = h(x, y) \exp(-i \beta z)$$

بالتعويض في معادلات ماكسويل (5.I) و (8.I) نجد:

$$\nabla_t \times E_t = -i \omega \mu H_z \quad (30.I)$$

$$\nabla_t \times E_z - i \beta e_k \times E_t = -i \omega \mu H_t \quad (31.I)$$

$$\nabla_t \times H_z - i \beta e_k \times H_t = i \omega \epsilon E_t \quad (32.I)$$

$$\nabla_t \times H_t = i \omega \epsilon E_z \quad (33.I)$$

حيث:

$$\bar{e}_k, \bar{\nabla}_t = \left( \frac{\partial}{\partial x} \bar{e}_i, \frac{\partial}{\partial y} \bar{e}_j, 0 \right)$$

من أجل الاستقطاب  $(TE)$ ، من العلاقة (30.I) نجد  $E_x = 0$ :

$$\beta E_y = -\omega \mu H_x \quad (34.I)$$

$$\frac{\partial E_y}{\partial x} = -i \omega \mu H_z \quad (35.I)$$

$$\frac{\partial H_z}{\partial x} + i \beta H_x = -i \omega \epsilon E_y \quad (36.I)$$

من أجل الاستقطاب  $(TM)$  نجد  $H_x = 0$ :

$$\beta H_y = \omega \epsilon E_x \quad (37.I)$$

$$\frac{\partial H_y}{\partial x} = i \omega \epsilon E_z \quad (38.I)$$

$$\frac{\partial E_z}{\partial x} + i \beta E_x = i \omega \epsilon H_y \quad (39.I)$$

بتعويض العلاقاتين (34.I) و (34.I) في العلاقة (36.I) نجد:

$$\frac{\partial^2 E_y}{\partial x^2} + (k_0^2 n_i^2 - \beta^2) E_y = 0 \quad (40.I)$$

بتعويض العلاقاتين (37.I) و (38.I) في العلاقة (39.I) نجد:

$$\frac{\partial^2 H_y}{\partial x^2} + (k_0^2 n_i^2 - \beta^2) H_y = 0 \quad (41.I)$$

حيث  $n_i$  تمثل قرينة انكسار الأوساط الثلاثة كما يلي:  $n_a, n_g, n_s$  في كل وسط نضع:

$$\gamma_a^2 = k_0^2 n_a^2 - \beta^2 < 0 \quad \text{الطبقة العليا:}$$

$$k_x^2 = k_0^2 n_g^2 - \beta^2 > 0 \quad \text{الطبقة الموجهة:}$$

$$\gamma_s^2 = k_0^2 n_s^2 - \beta^2 < 0 \quad \text{الشريحة:}$$

نكتب شرط التوجيه الثاني:

$$\begin{aligned} n_g > n_{eff} > n_a \\ n_g > n_{eff} > n_s \end{aligned} \quad (42.I)$$

عبارة الحقل الكهربائي في الأوساط الثلاثة تكون على الشكل التالي [6]:  
باعتبار أن:  $\mu$  ثابت.

$$E_y(x, z) = \begin{cases} A_a \exp(-\gamma_a \cdot x) & x > d/2 \\ A_g \cos(k_x \cdot x + \psi) & |x| \leq d/2 \\ A_s \exp(-\gamma_s \cdot x) & x < d/2 \end{cases} \exp(-i \beta z) \quad (43.I)$$

عبارة الحقل المغناطيسي في الأوساط الثلاثة تكتب:

$$H_y(x, z) = \begin{cases} \gamma_a A_a \exp(-\gamma_a \cdot x) & x > d/2 \\ k_x A_g \sin(k_x \cdot x + \psi) & |x| \leq d/2 \\ \gamma_s A_s \exp(-\gamma_s \cdot x) & x < d/2 \end{cases} \exp(-i \beta z) \quad (44.I)$$

تُحدد الثوابت  $A_a, A_g, A_s, \psi$  باستعمال الشروط الحدية عند الحد الفاصل .

بناءً على معادلات الاستمرارية (12.I) فإن المركبات المتماثلة للحقل الكهربائي تكون

مستمرة عند الحد الفاصل للوسطين الموجه-الطبقة العليا، الموجه-الشريحة ( $x = \pm d/2$ ) فيكون:

$$\begin{aligned} E_t : A_a \exp(-\gamma_a \cdot d/2) &= A_g \cos(k_x \cdot d/2 + \psi) \\ : \gamma_a A_a \exp(-\gamma_a \cdot d/2) &= k_x A_g \sin(k_x \cdot d/2 + \psi) \end{aligned} \quad (45.I)$$

$$\begin{aligned} E_t : A_s \exp(-\gamma_s \cdot d/2) &= A_g \cos(k_x \cdot d/2 + \psi) \\ : \gamma_s A_s \exp(-\gamma_s \cdot d/2) &= k_x A_g \sin(k_x \cdot d/2 + \psi) \end{aligned} \quad (46.I)$$

بجمع نسبة المعادلتين (44.I) و (45.I) نجد:

$$k_x \cdot d - \text{Arc tan} \frac{\gamma_a}{k_x} - \text{Arc tan} \frac{\gamma_s}{k_x} = \pi m \quad (47.I)$$

وتسمى العلاقة الأخيرة بمعادلة الصيغ.

إذا كان  $n_{\text{eff}} = n_s$  (حد التوجية) فإن معادلة الصيغ تكتب كما يلي:

$$k_0 \cdot d \sqrt{n_g^2 - n_s^2} = \pi m + \text{Arctg} \sqrt{\frac{n_s^2 - n_a^2}{n_g^2 - n_s^2}}$$

حيث:  $k_0 = \frac{\omega}{c}$ . من أجل رتبة الصيغة ( $m$ )، فإن هذه المعادلة محققة من أجل تردد حدّ  $\omega_c$  يسمى بتردد القطع و نعرفه كآلائي:

$$\omega_c = c \cdot \frac{m\pi + \text{Arctg} \sqrt{\frac{n_s^2 - n_a^2}{n_g^2 - n_a^2}}}{2\pi d \sqrt{n_g^2 - n_a^2}} \quad (48.I)$$

من أجل  $\omega < \omega_c$ ، فإن بنية الموجّه الضوئي لا تحقق التوجيه للصيغ المنتشرة داخلها، و يوصف فيزيائيا بالقطع [2].

#### I-4-2- طاقة بوتينغ لصيغ الموجّه :

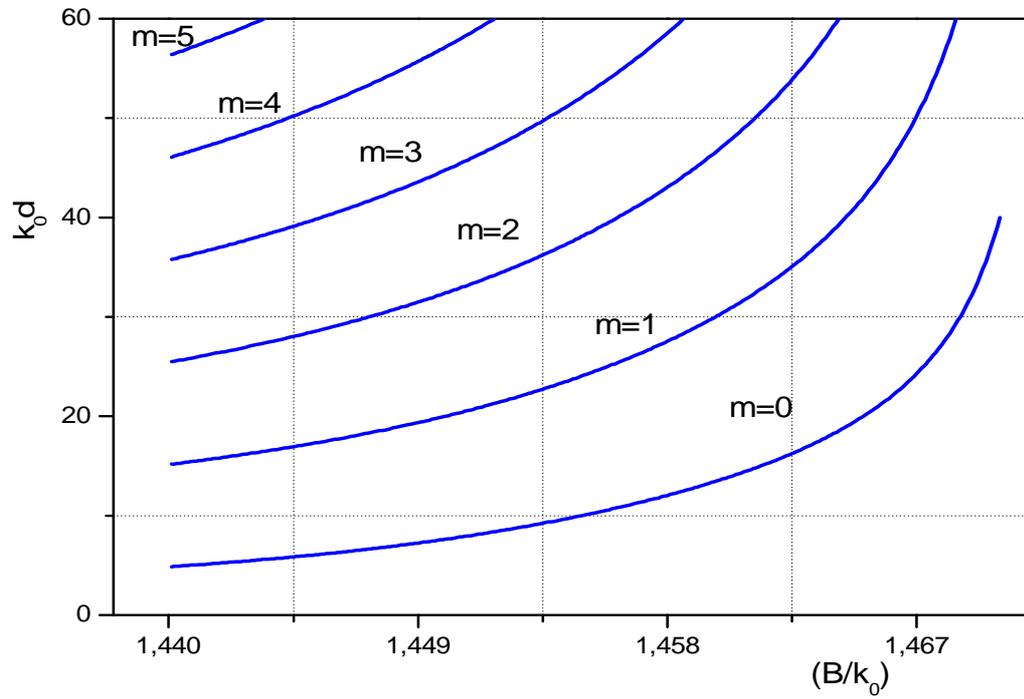
تُعرف القيمة المتوسطة للطاقة P المحمولة من طرف الصيغة التي تعاني الانعكاس الكلي عند الحد الفاصل للوسطين [6]:

$$P^{TE} = \frac{W \beta}{4\mu\omega} |e(x, y)|^2 d_{eff} \quad (49.I)$$

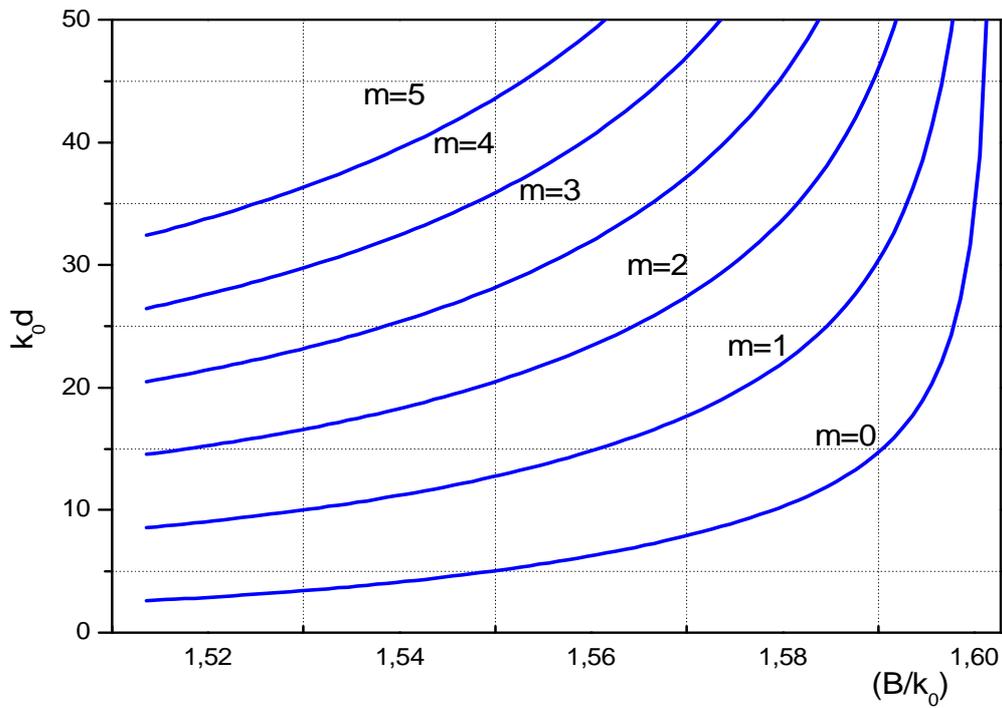
$d_{eff} = d + \frac{1}{\gamma_a} + \frac{1}{\gamma_s}$ : السمك الافتراضي للطبقة الموجهة. W : عرض الطبقة الموجهة.

#### I-4-3- منحني التشتت :

قمنا في هذا الجزء من العمل بإنجاز منحى التشتت الذي يصف انتشار الصيغ داخل الموجّه الضوئي، و ذلك بإنجاز برنامج يمكننا من حساب قرينة الانكسار الافتراضية لموجّه ضوئي ذو قرينة انكسار ثابتة عند تحديد سمك الموجّه و الطول الموجي للإشعاع المستعمل . منحى التشتت الموضح بالشكل (11-I) من اجل موجّه من الزجاج السليكاتي حيث قرينة انكسار الطبقة الموجهة و الشريحة تكون مساوية على التوالي  $[n_s = 1.44, n_g = 1.47]$  وهذا من اجل الصيغ الخمس الأولى . أما الشكل (12-I) يوضح منحى التشتت من اجل موجّه الزجاج الفوسفاتي حيث قرينة الانكسار الطبقة الموجهة و الشريحة على التوالي  $[n_s = 1.51, n_g = 1.60]$ . يمكن لهذا البرنامج تحديد القرينة الافتراضية لكل قرينة انكسار للطبقة الموجهة و الشريحة معطاة عند سمك و طول موجي معين.

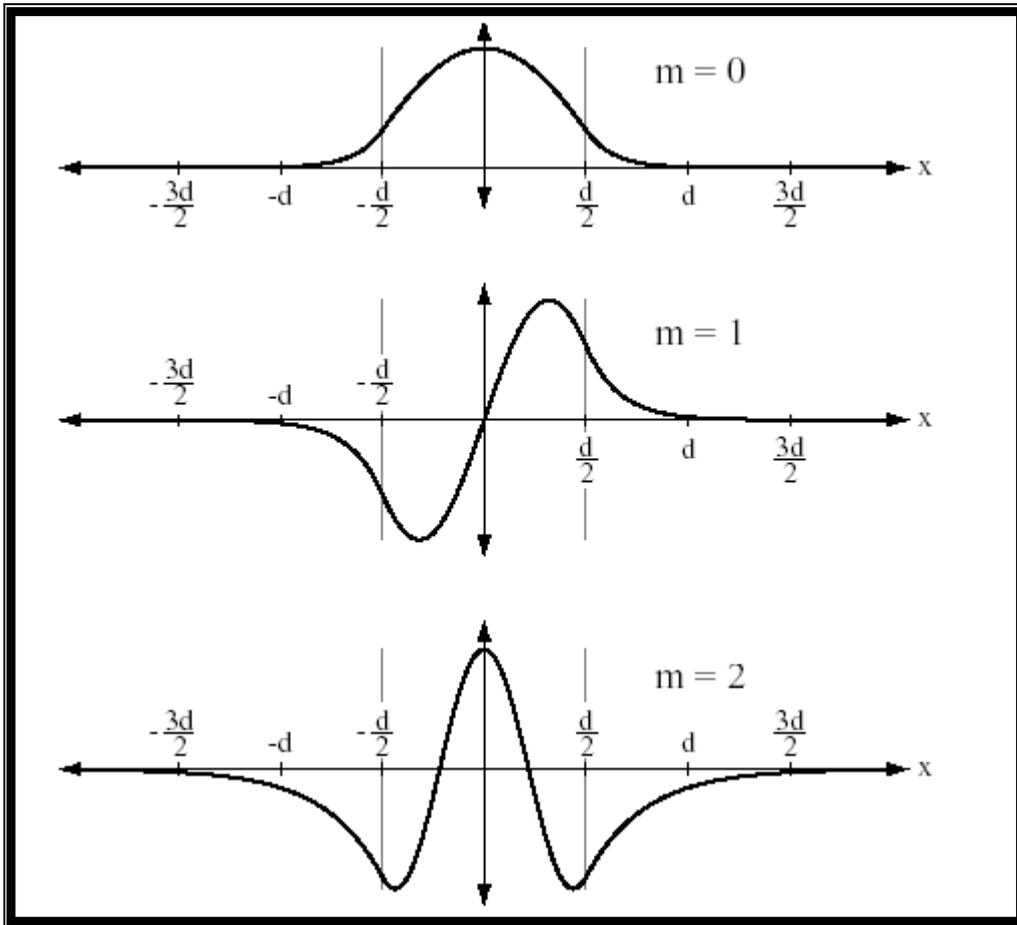


الشكل (11-I): منحنى التشتت للزجاج السليكاتي من أجل  $[n_g = 1.44 \quad n_s = 1.47]$



الشكل (12-I): منحنى التشتت للزجاج الفوسفاتي من أجل  $[n_g = 1.51 \quad n_s = 1.6]$

من خلال الشكل (I-13) الذي يوضح اهتزاز الحقول داخل الموجه الضوئي من أجل الصيغ الثلاث الأولى [13]، يمكننا أن نلاحظ أنه كلما زاد عدد الصيغ المنتشرة في الموجه ضَعُفَ التوجيه للموجة الضوئية و بالتالي يكون تخامد الموجة أكبر في الشريحة و الطبقة العليا. هذا واضح في الشكل أدناه.



الشكل (I-13): اهتزاز الموجة داخل الموجه للثلاث الصيغ الأولى

**I-5- ملخص**

ينتشر الضوء داخل الموجّهات الضوئية ذات قرينة انكسار ثابتة بمبدأ الانعكاس الكلي الذي يعتبر شرط ضروري للتوجيه للضوء. تخضع الدراسة النظرية لانتشار الضوء في هذا النوع من الموجّهات إلى تقريبين، الأول التقريب الهندسي (نموذج الشعاع الضوئي) و التقريب الثاني التقريب الموجي، هذان التقريبان يمكننا من إيجاد معادلة الصيغ و التي من خلالها قمنا انجاز منحى التشتت الذي يحدد قرينة الانكسار الافتراضية لكل صيغة.

تختلف الدراسة النظرية لانتشار الضوء عند إدخال اضطراب للموجّه الضوئي على طول محور الانتشار، حيث نحتاج إلى علاقات و نظريات أخرى تصف هذا الانتشار. هذا ما سنراه في الفصل القادم بدراسة تحليلية لانتشار الضوء في شبكة براغ المدججة.

## المراجع:

- [1] Y .Suematash, K-I Iga , " Transmissions sur Fibre Optiques ", Technologie Générale, Masson **1984**
- [2] Frahat Rehouma , "Etude de l'échange D'ions A L'argent Dans Un verre AluMinoBorSilicate Application a une Procède D'En change Sélectif Des Guides " -,Thèse Doctorat ,**1994**.
- [3] د.عبد الله موسى-الميكانيك الكوانتي- الجزء الأول -ديوان المطبوعات الجامعية الجزائر.**1986**.
- [4] مارسيلو ألونزو ، ادوارد فين -ترجمة بوجانة عاشور-الفيزياء العامة الحقول و الأمواج- ديوان المطبوعات الجامعية الجزائر **1986**.
- [5] Danniell Mauras " Electromagnetiqué , ", Presse Universitaires des Frances , 73 avance Ronsard U110 Vendôme **1999**.
- [6] Donaied L. Lee, " Electromagnetic Principles of Integrated Optics ", John Wiley & Sons NY ,**1989**
- [7] H.Kogelink , Theodor.Tamir (ed)" Guide-wave optoelectronics " Spring –Verlag-Berlin ,**1990**.
- [8] Pierre Lecoy," Télécommunications optiques " ,© Hermès , paris **1992**
- [9] Yoann Jestin , " Verres Fluorés à Base De Fluoroindate Et Fluorogallate Pour L'amplifications Optique : Fibres à Forte Ouverture Numérique, Guides D'ondes Planaires Et Spectroscopie Des Ions De Terre Rare " ,Thèse docteur DE L'université Du Maine ,**2002**.
- [10] Frédreque de Fronel, " les ondes evanescentes en Optique et Optoélectroniques ", Université de Bouryogne –Eyrolles **1998** .
- [11] م. Papuchon. (Thomson-CSF)," Cours Systems Optiques Et Optique Intégrée Télécommunications " ,**1988**.
- [12] P.Jenovirer, "Relations entre Propriétés Spectroscopie et Microstructurales de Couches Minces de Titanates Terres Rares Ellébore par Sol Gel et Intégration dans des Dispositifs Actifs " ,Thésé Doctorat,Institut National de Grenodle,Octobre **2003**.
- [13] Tomas.E.Murphy," Integrated optical Grating-Based Matched Filters For Fiber Optic Communications " ,Thesis Mater **1996**.

**تمهيد:**

يمكن معالجة الإشارة الضوئية باستعمال المركبات الضوئية المدججة، كما هو الحال بالنسبة للإشارة الكترونية و الكهربائية. لكن هذه العملية مازالت في طور البحث أو أُنجزت مخبريا لبعضها و مسوقا للبعض الآخر، و المستفيد الأكبر من هذه التقنيات هو مجال الاتصالات فالهدف هو الوصول إلى رابطة اتصالات الكل ضوئي مما يسمح بالاستغلال الأمثل لمميزات الألياف الضوئية. من بين الوظائف الضوئية لمعالجة الإشارة هي: التضخيم، التضمين، التقسيم، الترشيح و هذه الأخيرة تعتبر وظيفة ضرورية للإشارة، وذلك بانتقاء طيف أو أطيف معينة و حذف أخرى حسب التطبيق.

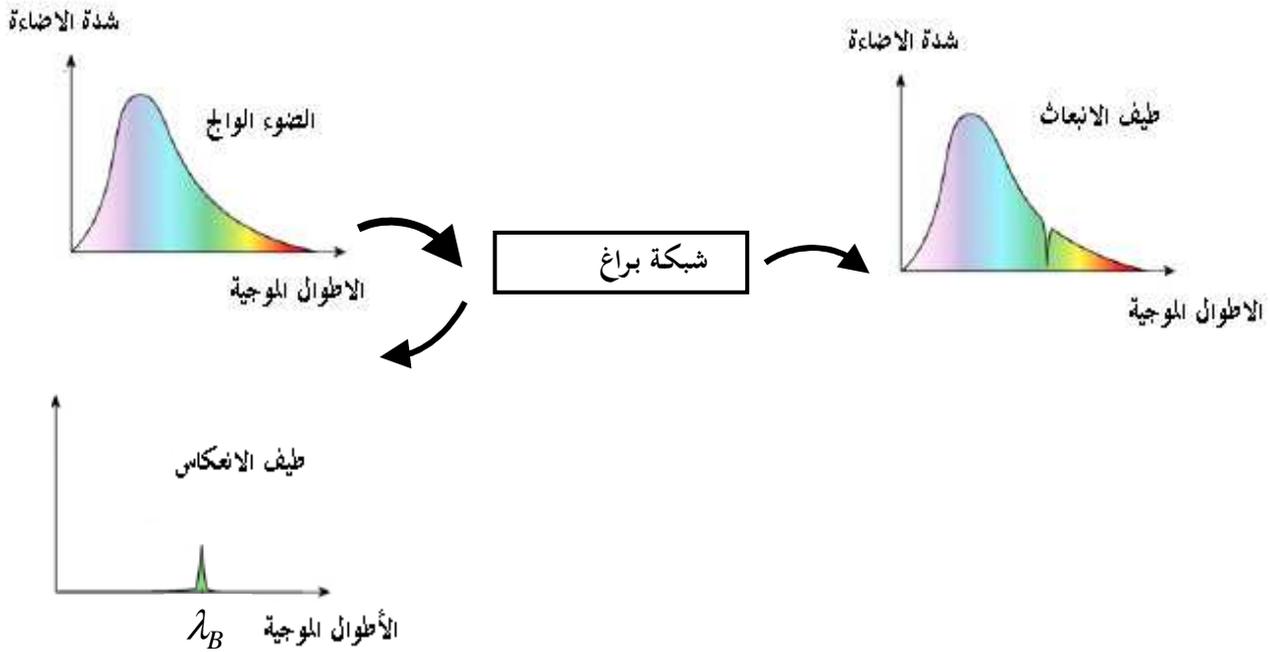
تعتبر المرشحات الضوئية في الضوء المدمج موضوع بحوث لعدد كبير من المخابر الجامعية و الصناعية في العالم وان اختلفت الطرق و التقنيات فالهدف واحد.

في هذا الفصل سنتطرق إلى الجانب النظري لانتشار الضوء داخل هذه المرشحات المتمثلة في شبكة براغ، و سنعرض مبدأ الترشيح الضوئي لهذه الأخيرة أهم العلاقات و النظريات التي تميز هذا الانتشار في شبكة براغ المنتظمة المدججة، و نصف في الأخير طرق و تقنيات الحصول على مرشح ضوئي مدمج (شبكة براغ المنتظمة).

**II-1- مبدأ الترشيح**

إن الانعكاس الجزئي للضوء في موجّه ناتج بالدرجة الأولى عن تغير محلي في قرينة انكسار أي تغير في التركيبة الكيماوية محليا أو عيب في سطح الموجّه، هذه الظاهرة تسمى بالاضطراب في البنية فان حدث و تكرر هذا الاضطراب بشكل دوري وتحت شروط معينة فان الضوء المنعكس عند هذه الاضطرابات يكون متوافقا طوريا، هذه الشروط تسمى بشروط براغ و مجموعة الاضطرابات تسمى عمليا بشبكة براغ.

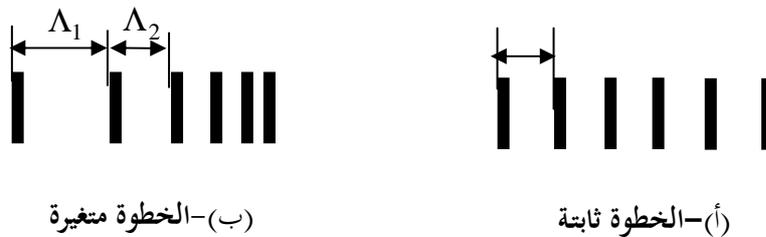
استغل هذا النوع من الاضطراب في الموجّهات لصناعة المرشحات الضوئية، حيث أن مبدأ ترشيح قائم على الانعكاسات عند هذه الاضطرابات أو عند كل أحاديذ المكونة لشبكة. يظهر مبدأ الترشيح في وظيفة الانتقائية المتمثلة في امرار و ارجاع أطوال موجية معينة كما موضح بالشكل (II-1) [1].



الشكل (II-1): مبدأ الترشيح

## II-2- الشبكات العاكسة

يادخال بنية مضطربة في موجّه ضوئي على طول محور انتشار الموجة الضوئية، تسمى هذه البنية بالشبكة العاكسة أو شبكة براغ. يكون هذا الاضطراب منتظما، أين الخطوة  $\Lambda$  تكون ثابتة في هذه البنية كما بالشكل (2.أ)، ويكون غير منتظم كما بالشكل (2.ب)، حيث نجد الخطوة تكون متغيرة  $\Lambda_1 \Lambda_2 \dots \Lambda_i$ .



الشكل (II-2): مخطط شبكة براغ أ-المنتظمة، ب-الغير المنتظمة

## II-2-1- شرط براغ :

حاز وليام لورانس براغ (William Lawrence Bragg) على جائزة نوبل سنة 1915 [2] على أعمال بحث حول انعكاس الضوء داخل بنية مضطربة. يولد الاضطراب في الموجة انعكاس لطول موجي محدد، و يسمى بطول موجة براغ  $\lambda_B$  و نكتب شرط براغ [3]، [4] [5] كما يلي:

$$\lambda_B = 2 \cdot n_{eff} \cdot \Lambda \quad (1.II)$$

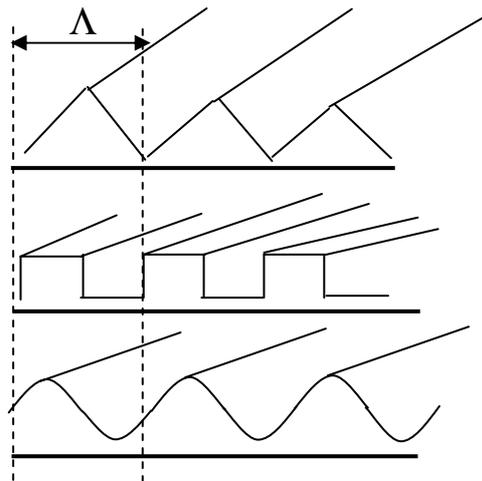
$\lambda_B$  : طول الموجي لبراغ لخطوة  $\Lambda$  .

## II-2-2- أنواع شبكات براغ

توجد أنواع عديدة لشبكات براغ، نذكر من بينها:

## 2-2-1- شبكات براغ المنقوشة سطحياً:

تُحقق شبكات براغ المنقوشة على سطح الموجة و ذلك بنقش أو نحت بنية مضطربة على طول الانتشار للموجة [6] و هذا باستعمال تقنيات سنصفها لاحقاً. يمكنها أن تأخذ أشكال عديدة، منها المثلثية والمستطيلة و الجيبية [7] هذا ما يوضحه الشكل (II-3).



الشكل (II-3): أنواع شبكات المنقوشة سطحياً أ-المثلثية، ب-المستطيلة، ب- الجيبية

## 2-2-2- شبكات براغ الحساسة للضوء :

أكثر استعمالات هذه الشبكات نجدها في الألياف الضوئية [7]، يستعمل هذا النوع من الشبكات على المواد التي تملك حساسية ضوئية [8]، [9]، [10]. فعند تعريض سطح الموجه إلى شدة إضاءة ولمدة زمنية معينة فإنها تتغير خصائصها الضوئية و ذلك بتغير قرينة الانكسار. يستغل هذا التغير في توليد بنية مضطربة بتقنية صناعية معينة. التغير في القرينة يمكن أن يكون عكوس أو غير عكوس، و يوصف بالعلاقة الآتية [10]:

$$\Delta n = Ker \cdot I(x, y, t) \quad (2.II)$$

$\Delta n$ : التغير في قرينة انكسار الطبقة الموجهة  $n_g$ .

$Ker$ : معامل كبير.

$I(x, y, t)$ : شدة الإضاءة المسلطة.

### 2-2-3- شبكات براغ ثنائية الطبقات

وهي عبارة عن تراكم دوري لمادتين مختلفتين ضوئياً (قرينة الانكسار مختلفة)، سمكهما بعض الميكرومترات، فتشكل هذه الطبقات بنية مضطربة [11].

### II-3- الدراسة النظرية لانتشار الضوء في بنية مضطربة :

تعتبر دراسة انتشار الضوء في وسط مضطرب أكثر تعقيداً من دراسة انتشار الضوء في وسط غير مضطرب الذي تعرضنا إليه في الفصل السابق. تعتمد هذه الدراسة على علاقات و نظريات مهمة و هذا ما سنراه فيما يلي.

### II-3-1-علاقة التعاكس للورانتز (Lorentz).

تصف نظرية التعاكس للورانتز العلاقة بين الحقول في وسط مضطرب و الحقول في وسط غير مضطرب [3]، [12].

فترمز إلى: سما حية الوسط الغير مضطرب  $\mathcal{E}$  و الحقول الغير مضطربة  $E, H$

سما حية الوسط المضطرب  $\mathcal{E}'$  و الحقول المضطربة  $E', H'$

نكتب معادلات ماكسويل للعلاقتين (5.I) و (8.I) المكافئة لكل وسط ذو سما حية  $\mathcal{E}'$  ،  $\mathcal{E}$  :

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -i \omega \mu \vec{H} \quad \vec{\nabla} \times \vec{E}' = -i \omega \mu \vec{H}' \quad (3.II)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = +i \omega \epsilon \vec{E} \quad \vec{\nabla} \times \vec{H}' = +i \omega \epsilon' \vec{E}'$$

نعرف المقدار الشعاعي  $\vec{S}$ :

$$\vec{S} = \vec{E}^* \times \vec{H}' + \vec{E}' \times \vec{H}^* \quad (4.II)$$

نعني بالرمز (\*) بمرافق الشعاع للحقل الكهربائي و للمغناطيسي.

يادخال نابلا ( $\vec{\nabla}$ ) على العلاقة (4.II) يكون:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{S} = \vec{\nabla} \cdot (\vec{E}^* \times \vec{H}' + \vec{E}' \times \vec{H}^*) \quad (5.II)$$

باستعمال العلاقة الشهيرة للأشعة  $\vec{A}$  ،  $\vec{B}$  نجد:

$$\vec{\nabla} \cdot (\vec{A} \times \vec{B}) = \vec{B} \cdot (\vec{\nabla} \times \vec{A}) - \vec{A} \cdot (\vec{\nabla} \times \vec{B})$$

$$\vec{\nabla} \cdot (\vec{E}^* \times \vec{H}') = \vec{H}' \cdot (\text{rot } \vec{E}^*) - \vec{E}^* \cdot (\text{rot } \vec{H}') \quad (6.II)$$

$$\nabla \cdot (\vec{E}' \times \vec{H}^*) = \underline{H}^* \cdot (\text{rot } \vec{E}') - \vec{E}' \cdot (\text{rot } \vec{H}^*) \quad (7.II)$$

بتعويض العلاقة (6.II) و (7.II) في العلاقة (5.II) نحصل على:

$$\nabla \cdot \vec{S} = -j\omega(\epsilon' - \epsilon)\vec{E}' \cdot \vec{E}^* \quad (8.II)$$

بالتكامل بالنسبة للحجم و باستعمال نظرية غرين-اوستوغرادسكي ((S) سطح مغلق يحيط بالحجم (V):

$$\iiint_V \text{div} S \, ds = \iint_S S \, ds$$

$$\iint_S (\vec{E}^* \times \vec{H}' + \vec{E}' \times \vec{H}^*) \, ds = -j\omega \iiint_V (\epsilon' - \epsilon) \vec{E}' \cdot \vec{E}^* \, dv$$

و بأخذ التفاضل بالنسبة إلى z كما موضح [4]:

$$\iint_S (E^* \times H' + E' \times H^*) \, ds = -j\omega \iint_S (\epsilon' - \epsilon) E' \cdot E^* \, ds \quad (9.II)$$

تعرف المعادلة (9.II) بعلاقة التعاكس للورانتر.

### II-3-2- نظرية الصيغ المرتبطة

طرق عدة تستعمل لدراسة انتشار الضوء في بنية مضطربة منها العددية كطريقة التكامل المباشر و طريقة المصفوفة المحولة [13]، ومنها التحليلية كطريقة نشر فوري [14] و نظرية الصيغ المرتبطة [1]، [5]، [17]. و تعتبر هذه الأخيرة الأكثر استعمالاً.

المبدأ العام لهذه النظرية يتمثل في جعل الحقول في وسط مضطرب كتراكيب خطية للحقول في وسط غير مضطرب [3]، [12]، [15].

بالاعتماد على العلاقة (10.I) نكتب عبارة الحقول في بنية غير مضطربة من أجل n صيغة

واردة في اتجاه الانتشار المباشر للمحور (z) كما يلي:

$$\begin{aligned} E(x, y, z) &= e_n(x, y) \exp(-i \beta_n \cdot z) \\ H(x, y, z) &= h_n(x, y) \exp(-i \beta_n \cdot z) \end{aligned} \quad (10.II)$$

نكتب عبارة الحقول في وسط مضطرب من أجل  $m$  صيغة مختلفة يمكنها الانتشار داخل هذا الوسط كما يلي:

$$\begin{aligned} E'(x, y, z) &= \sum_m a_m e_m(x, y) \exp(-i \beta_m \cdot z) \\ H'(x, y, z) &= \sum_m a_m h_m(x, y) \exp(-i \beta_m \cdot z) \end{aligned} \quad (11.II)$$

$a_m(z)$ : تمثل سعة الصيغ ( $m$ ) للبنية المضطربة على طول محور الانتشار ( $z$ ).  
بتعويض في العلاقة (10.II) و (11.II) في علاقة للورانتز (9.II) يكون:

$$\iint_s \frac{\partial}{\partial z} \left[ \begin{aligned} &e_n^* \cdot \exp(i \omega \beta_n) \times \sum_m a_m(z) h_m' \cdot \exp(-i \omega \beta_m) \\ &+ \sum_m a_m(z) e_m' \cdot \exp(-i \omega \beta_m) \times h_n^* \cdot \exp(i \omega \beta_n) \end{aligned} \right] dz = \quad (12.II)$$

$$= -i \omega \sum_m a_m(z) \exp(-i \Delta \beta_{n,m} \cdot z) \iint_s (\varepsilon' - \varepsilon) e_m e_n^* ds$$

بالنشر الحدود و بالاشتقاق بالنسبة إلى  $z$  نجد:

$$\sum_m \left[ i \Delta_{n,m} a_m + \frac{da_m}{dz} \right] \exp(i \Delta_{n,m} \cdot z) \iint_s (e_n^* \times h_m' + e_m' \times h_n^*) ds = \quad (13.II)$$

$$= -i \omega \sum_m a_m \exp(i \Delta_{n,m} \cdot z) \iint_s (\varepsilon' - \varepsilon) e_m e_n^* ds$$

حيث:  $\Delta_{n,m} = \beta_n - \beta_m$

بتطبيق العلاقة القطرية على التكامل الموضح في الجزء الأول من العلاقة (13.II) و المعرفة كما

$$\iint_s (e_n^* \times h_m' + e_m' \times h_n^*) = 2 \operatorname{sgn}(n) \delta_{m,n} \quad \text{يلي [12]}$$

$\operatorname{sgn}(n)$ : تمثل إشارة الصيغة ( $n$ ).

نعرف دالة (Kroencker) كما يلي:

$$\delta_{m,n} = \begin{cases} 1 & \text{عندما } m = n \\ 0 & \text{عندما } m \neq n \end{cases}$$

بالتعويض في (13.II) من أجل  $m = n$  نجد:

$$\frac{da_n}{dz} = -i \sum_m a_m \cdot \exp(i \Delta_{m,n} \cdot z) \cdot c_{m,n} \quad (14.II)$$

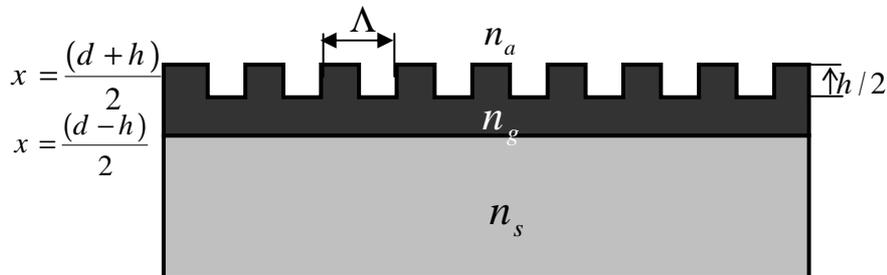
$$c_{m,n} = \frac{\omega}{2} \text{sng}(n) \iint_s (\varepsilon' - \varepsilon) e_m e_n^* ds \quad (15.II)$$

$c_{m,n}$ : يمثل معامل الارتباط بين صيغ الوسط المضطرب و الغير مضطرب.  
تعتبران هاتان العلاقتين اللتين يصفان انتشار الضوء داخل وسط مضطربة.

## II-4-الدراسة النظرية للشبكات براغ المنتظمة المدمجة

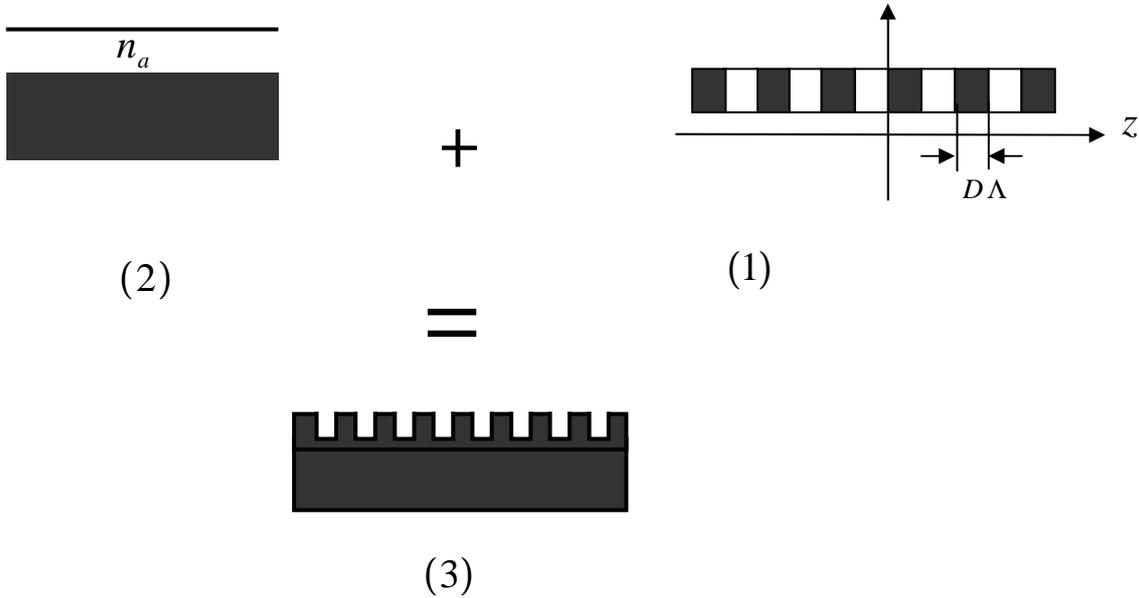
### II-4-1-التحليل النظري :

يأخذ الاضطراب في شبكة براغ المنتظمة شكل نبضات مستطيلة على طول محور انتشار (أحاديد الشبكة)، كما هو موضح في الشكل (II-4)، تمثل البنية الهندسية لشبكة براغ لبعدين و ليكن  $(x, z)$  المميّزة بارتفاع  $h$  و خطوة  $\Lambda$ ، أين  $h$  و  $(n_g^2 - n_a^2)$  تكون مقادير صغيرة.



الشكل (II-4): الشبكات العاكسة لبعدين  $(x, z)$  توصف قرينة الانكسار في وسط مضطرب كما في الشكل (II-5) بالعلاقة الآتية:

$$n^2(x, z) = n_g^2 + \Delta\mathcal{E}(x, z) \quad (16.II)$$



الشكل (II-5): 1- دالة الاضطراب -2- بنية غير مضطربة -3- شبكة براغ المنتظمة المدمجة

حيث:

$\Delta\mathcal{E}(x, z)$ : تغير السماحية التي تصف دالة الاضطراب بالعلاقة الآتية [12]:

$$\Delta\mathcal{E}(x, z) = u(x) \Delta\mathcal{E}(z) \quad (17.II)$$

حيث:

$$u(x) \begin{cases} 1 & |x - d/2| < h/2 \\ 0 & \text{خارجة} \end{cases}$$

بما أن تغير سماحية يأخذ شكل مستطيلات نعرف دالة الاضطراب الموضحة في الشكل أدناه كدالة لنشر فورييه:

$$\Delta\mathcal{E}(z) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \Delta\mathcal{E}_n \cos\left(\frac{2\pi n}{\Lambda} z\right)$$

$$\Delta \mathcal{E}(z) = \Delta \mathcal{E}_1 \cos\left(\frac{2\pi}{\Lambda} z\right) + \Delta \mathcal{E}_2 \cos\left(\frac{4\pi}{\Lambda} z\right) + \dots + \Delta \mathcal{E}_n \cos\left(\frac{2n\pi}{\Lambda} z\right)$$

و يكتب معامل فورييه  $\Delta \mathcal{E}_n$  [7]:

$$\Delta \mathcal{E}_n = 2(n_g^2 - n_a^2) \frac{\sin(\pi D n)}{\pi n} \quad (18.II)$$

حيث:

$D$ : تمثل نسبة معينة من الدور المشغول بالطبقة الموجهة .

تأثير باقي الحدود من اجل الرتبة ( $n$ ) تكون مهملة أمام الحد الأول  $\Delta \mathcal{E}_1$  [7]، [12].

#### II-4-1- معادلات الصيغ المرتبطة :

يمكن تقسيم الانتشار داخل وسط المضطرب (شبكة براغ) إلى صيغ منتشرة ( $n$ ) في الاتجاه المباشر، وأخرى في الاتجاه المعاكس و تسمى صيغ منعكسة ( $-n$ ). إذا نكتب عبارة الحقول الكهربائية و المغناطيسية في شبكة براغ من أجل  $m = \pm n$  و ذلك بالتعويض في العلاقة (11.II) نجد:

$$\begin{aligned} \begin{Bmatrix} E'(x, y, z) \\ H'(x, y, z) \end{Bmatrix} &= a_n(z) \begin{Bmatrix} e_n(x, y) \\ h_n(x, y) \end{Bmatrix} \exp(-i \beta_n z) \\ &+ a_{-n}(z) \begin{Bmatrix} e_{-n}(x, y) \\ h_{-n}(x, y) \end{Bmatrix} \exp(-i \beta_{-n} z) \end{aligned} \quad (19.II)$$

بالتعويض في (14.II) نجد معادلة الصيغ المرتبطة من أجل  $m = \pm n$  كما يلي:

$$\frac{da_n}{dz} = -i \left[ a_n \cdot c_{n,n} + a_{-n} \cdot \exp(i \Delta_{-n,n} \cdot z) \cdot c_{-n,n} \right] \quad (20.II)$$

و تسمى العلاقة (20.II) بالمعادلة التفاضلية لسعة الصيغ المباشرة  $a_n$  في الشبكة. و نعلم نفس الخطوات لإيجاد المعادلة التفاضلية لسعة الصيغ المنعكسة  $a_{-n}$  في الشبكة، فنكتب عبارة الحقول كما يلي:

$$\begin{aligned} E(x, y, z) &= e_{-n}(x, y) \exp(-i \beta_{-n} \cdot z) \\ H(x, y, z) &= h_{-n}(x, y) \exp(-i \beta_{-n} \cdot z) \end{aligned} \quad (21.II)$$

أين نعوض في العبارة (13.II) نجد المعادلة التفاضلية لسعة الصيغ المنعكسة  $a_{-n}$  في شبكة براغ و تكتب:

$$\frac{da_{-n}}{dz} = -i \left[ a_{-n} c_{-n,-n} + a_n \cdot \exp(i \Delta_{n,-n} \cdot z) \cdot c_{n,-n} \right] \quad (22.II)$$

و يكتب معامل الارتباط  $c_{n,n}$  داخل الشبكة كما يلي:

$$c_{n,n} = \frac{\omega \Delta \epsilon_1}{4} \cos\left(\frac{2\pi}{\Lambda}\right) \int_0^W dy \int_{(d-h)/2}^{(d+h)/2} |e_y(x, y)|^2 dx \quad (23.II)$$

علما أن:

$$\begin{aligned} \Delta_{n,-n} &= \beta_n - \beta_{-n} = 2\beta_n & c_{-n,n} &= c_{n,n} \\ \Delta_{-n,n} &= -2\beta_n & c_{n,-n} &= c_{-n,-n} = -c_{n,n} \end{aligned} \quad \text{و}$$

إذا كان ارتفاع الشبكة صغير، فإن التكامل شدة الحقل الكهربائي للعلاقة (23.II) يمكن اعتباره قيمة ثابتة مساوية إلى القيمة شدة الحقل عند  $(x = d/2)$  [12] فنكتب:

$$c_{n,n} \cong c_0 \cos\left(\frac{2\pi}{\Lambda} z\right)$$

ويعرف  $c_0$  بثابت الارتباط كما يلي:

$$c_0 = \frac{\omega}{2} \Delta \epsilon_1 h \int_0^W dy \cdot |e_n(d/2, y)|^2 \quad (24.II)$$

بإعادة كتابة معادلات الصيغ المرتبطة نجد:

$$\frac{da_n}{dz} = -ic_0 [a_n \cdot \cos(\gamma \cdot z) + a_{-n} \cdot \exp(i \beta_n \cdot z) \cdot \cos(\gamma \cdot z)] \quad (25.II)$$

$$\frac{da_{-n}}{dz} = +ic_0 [a_{-n} \cdot \cos(\gamma \cdot z) + a_n \cdot \exp(i \beta_n \cdot z) \cdot \cos(\gamma \cdot z)]$$

$$\text{حيث: } \gamma = \frac{2\pi}{\Lambda}$$

الخطوات الرياضية لحل المعادلات التفاضلية للصيغ المرتبطة موضحة في الملحق (1) فنحصل:

$$a_{-n}(z) = e^{i(\delta k / 2)} \cdot (A_1 e^{Qz} + A_2 e^{-Qz}) \quad (26.II)$$

$$a_n(z) = e^{-i(\delta k / 2)} \cdot (A_1 e^{Qz} + A_2 e^{-Qz}) \quad (27.II)$$

علماً أن:

$$\delta k = 2\beta_n - \gamma$$

$$Q = \sqrt{(c_0/2)^2 - (\delta k / 2)^2}$$

، التي نعتبرها أولاً حقيقية.  $A_1, A_2$ : ثوابت يمكن تحديدها بالشروط الحدية.

## II-4-2- الشروط الحدية للشبكات براغ المنتظمة:

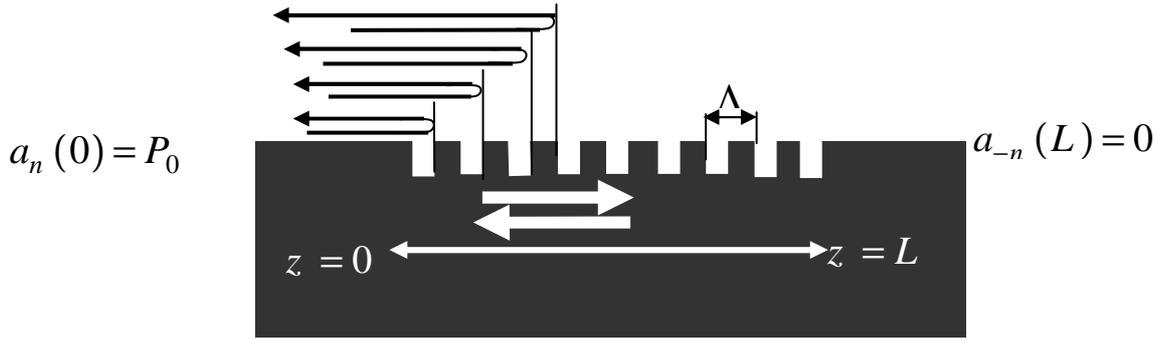
عند عبور الضوء الحامل للعديد من الأطوال الموجية شبكة براغ، فإنه عند كل أحاديذ الشبكة، تنعكس الأطوال الموجية التي تحقق شرط براغ الموضح في العلاقة (1.II)، و يواصل الجزء الأخر عبوره الشبكة.

و للحصول على شبكة مرشحة لحزمة من الأطوال الموجية، نضع الشروط الحدية

عند:  $z = 0$  و  $z = L$  كما في الشكل (6.II).

$$P_0 = |a_n(0)|^2 \quad (28.II)$$

$$a_{-n}(L) = 0 \quad (29.II)$$



الشكل (II-6): الشروط الحدية لشبكة براغ

بتطبيق العلاقة (29.II) على (26.II) يكون :

$$A_2 = -A_1 \exp(2QL)$$

إذن بالتعويض في المعادلة (26.II):

$$a_{-n}(z) = e^{i(\delta k/2)} \cdot A_1' [\sinh Q(z-L)] \quad (30.II)$$

من اجل الصيغ الواردة:

$$a_n(z) = \frac{4}{c_0^2} e^{i(\delta k/2)} \cdot A_1' \left[ \frac{\delta k}{2} \sinh Q(z-L) - iQ \cosh Q(z-L) \right] \quad (31.II)$$

$$\cdot A_1' = A_1 \cdot \exp(QL) \text{ بوضع:}$$

### II-4-3- الطاقة المنعكسة و العابرة للشبكة :

نعرف الطاقة المنعكسة و العابرة:  $p_n(z) = |a_n(z)|^2$  ،  $p_{-n}(z) = |a_{-n}(z)|^2$  نجد:

$$P_n(z) = \frac{4}{c_0^2} \cdot (A_1')^2 \left[ \left( \frac{\delta k}{2} \sinh Q(z-L) \right)^2 + (Q \cosh Q(z-L))^2 \right] \quad (32.II)$$

$$P_{-n}(z) = (A_1')^2 [(\sinh Q(z-L))^2] \quad (33.II)$$

لتحديد الثابت  $A_1'$ ، نطبق العلاقة (28.II) في العلاقة (31.II) نجد:

$$|A_1'|^2 = \frac{P_0 c_0^2}{4 \left[ Q^2 \cosh^2 (QL) + \left( \frac{\delta k}{2} \right)^2 \sinh^2 (QL) \right]} \quad (34.II)$$

نعرف المعاملات الآتية:

$$r_{grating} = a_{-n}(0)/a_n(0) \quad (35.II)$$

$$t_{grating} = a_n(L)/a_n(0)$$

حيث:  $r_{grating}$ ،  $t_{grating}$  تمثل معاملات انعكاس و عبور الموجة للشبكة.

نعرف معامل الطاقة المنعكسة للشبكة (الانعكاسية):

$$R = |r_{grating}|^2 = \frac{|a_{-n}(0)|^2}{|a_{+n}(0)|^2} \quad (36.II)$$

بالتعويض نجد:

$$R(\delta k) = \frac{\left( c_0/2 \right)^2 \sinh^2 (QL)}{Q^2 \cosh^2 (QL) + \left( \delta k/2 \right)^2 \sinh^2 (QL)} \quad (37.II)$$

باستعمال قانون حفظ الطاقة:  $R + T = 1$  نجد معامل عبور الطاقة للشبكة:

$$T(\delta k) = \frac{Q^2 (\sinh^2 (QL) - \cosh^2 (QL))}{Q^2 \cosh^2 (QL) + \left( \delta k/2 \right)^2 \sinh^2 (QL)} \quad (38.II)$$

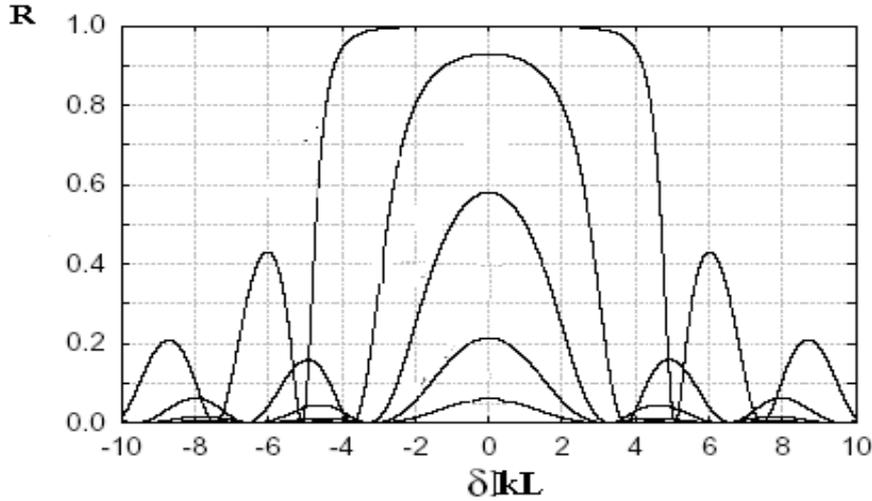
من اجل  $\delta k = 0 \Leftarrow \lambda = \lambda_B$  نكتب عبارة الانعكاسية الاعظمية  $R_{max}$  للشبكة:

$$R_{max} = \tanh^2 (C_0/2.L) \quad (39.II)$$

نعرف عرض الحزمة [12] و [5]:

$$\frac{\Delta \lambda}{\lambda} = \frac{\Lambda}{L} \sqrt{+ \left( c_0 \cdot L / 2\pi \right)^2} \quad (40.II)$$

الشكل (7-II) يوضح منحى طيف الانعكاس للشبكات براغ المنتظمة المدججة من اجل أربعة قيم مختلفة لثابت الارتباط [3] .



الشكل (7-II): طيف الانعكاس لشبكات براغ المنتظمة لأربعة معاملات ارتباط مختلفة

من اجل  $Q$  تخيلية نضع:  $Q = jQ'$ ، و باستعمال  $\sinh(jQ') = j \sin(Q')$  نجد العلاقة (37.II) كما يلي:

$$R(\delta k) = \frac{(c_0/2)^2 \sin^2(Q'L)}{Q^2 \cos^2(Q'L) + (\delta k/2)^2 \sin^2(Q'L)} \quad (41.II)$$

من اجل انعدام الطاقة المنعكسة يكون:  $Q'L = p\pi$

حيث:  $p = 0, 1, 2, \dots$

$$\delta k = \frac{2\pi}{L} \sqrt{p^2 + (c_0 L / 2\pi)^2} \quad (42.II)$$

ويمكن ملاحظة ذلك على الشكل (7-II).

II-4-4-معامل الارتباط:

تخضع شبكات براغ الحساسة للضوء المعرفة في (2-2-2) إلى نفس الدراسة النظرية.

بمعامل ارتباط [16] كما يلي:

$$c_0 = \frac{\Delta n \pi}{\lambda_B} \quad (43.II)$$

و عرض حزمة [16]:

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda\Delta n}{n_{eff}} \sqrt{1 + \left(\frac{\lambda_B}{\Delta n \cdot L}\right)^2} \quad (44.II)$$

تظهر العلاقة (44.II) تناسب عكسي بين عرض الحزمة و طول الشبكة.

## II-5- تقنية صناعة الموجهات في الضوء الدمج

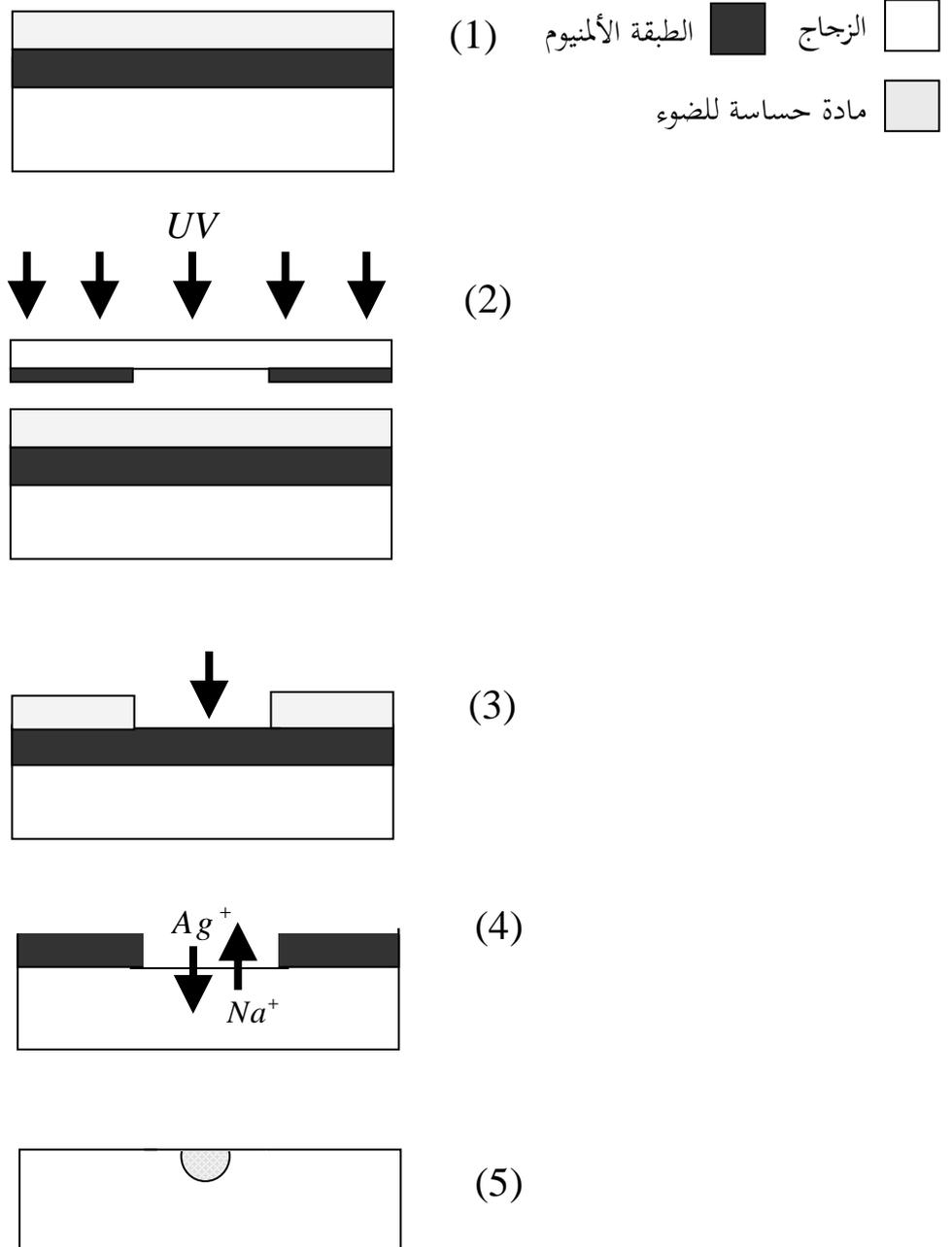
من الخصائص العديدة المرغوب فيها في الموجه الضوئي: الشفافية العالية للوسط خاصة في المجال المرئي وتحت الأحمر القريب وقرينة انكسار قريبة من قرينة الألياف البصرية السيلييسية, لأجل تقليل الضياعات الطاقوية الناجمة عند الارتباط.

من بين التقنيات الصناعية لموجه لضوئي تقنية طريقة التبادل الأيوني للزجاج. يتكون الزجاج المركب عادة من أكسيدين فأكثر، ولقد صنفت إلى أكاسيد مشكلة ( $P_2O_5, SiO_2, GeO_2$ ...) و أكاسيد مغيرة ( $Li_2O, NaO_2, K_2O$ ...) و أكاسيد وسطية ( $Al_2O_3, PbO, ZnO$ ) [17]. يتم التبادل الأيوني لشريحة من الزجاج المركب في حمام حراري يحتوي على أيونات التبادل كالأرغون ( $Ag^+$ ) أو البوتاسيوم ( $K^+$ ). حيث يحصل تغير سطحي لقرينة انكسار الزجاج لتصبح أكبر من قرينة الشريحة.

مراحل هذه التقنية [18] موضحة بالشكل (II-8) بطريقة مختصرة كما يلي:

1. تحضير العينة المكونة من الزجاج المركب أساسا من أكسيد مشكل و يحتوي على أكسيد مغير مثلا أكسيد الصوديوم ( $Na_2O$ ). نضع فوقها من طبقة الألمنيوم بتقنية التبخر.
2. نطلي طبقة الألمنيوم بمادة صمغية حساسة للضوء، ثم نضع القناع المراد تحقيقه فوق هذه الأخيرة و نقوم بتعريضها للأشعة فوق بنفسجية U.
3. تزال المادة الصمغية الغير مغطاة بالقناع بالأشعة فوق بنفسجية.
4. تنحت الطبقة الألمنيوم الغير واقية بالمادة الصمغية بواسطة حمض ارثوفوسفريك.
5. تبدأ مرحلة التبادل الأيوني و هذا بوضع الشريحة في حمام حراري يحتوي مثلا على أكسيد الأرغون  $AgNO_3$  في درجة حرارة فوق  $330^\circ\text{M}$ ، فيحدث تبادل بين الزجاج  $Na^+$  و الايونات التبادل الموجودة في الحمام المتمثلة  $Ag^+$  في المنطقة الغير مغطاة بطبقة الألمنيوم.

هذا الاختلاف في التركيب الكيميائي يولد اختلاف في القرينة و يتشكل موجّه على السطح الشريحة. ثم تزال الطبقة المتبقية من الألمنيوم و نحصل بالتالي على موجّه ضوئي سطحي.



الشكل (8-II): مراحل تحقيق موجّه ضوئي على السطح بواسطة تقنية التبادل الأيوني

## II-6- التقنيات الصناعية لشبكات براغ

تعتبر صناعة شبكات براغ من إحدى التقنيات الصناعية الدقيقة في الكهروضوئيات، و يرجع ذلك للصعوبة في تحقيق بنية دورية ذات خطوة صغيرة جدا تقدر بالنانومتر (مسطرة النانومتر). من بين التقنيات الصناعية المستعملة طريقة الطباعة الضوئية باستعمال التداخل و طريقة القناع الصلب، و سنقوم فيما يلي بعرض هاتين الطريقتين :

### II-6-1- طريقة الطباعة الضوئية باستعمال التداخل :

تعتبر من أهم التقنيات الصناعية لشبكات براغ للمؤجّهات الضوئية الحساسة للضوء كما هو موضح في الشكل (II-9) تعتمد على مبدأ بسيط. بتداخل موجتين مستويتين في الفراغ فيشكلان موجة لها أهداب مضيئة و أهداب عاتمة على كامل سطح العينة. ترتبط الخطوة في الشبكة بزاوية السقوط للأمواج الواردة [19] في هذه الحالة نكتب :

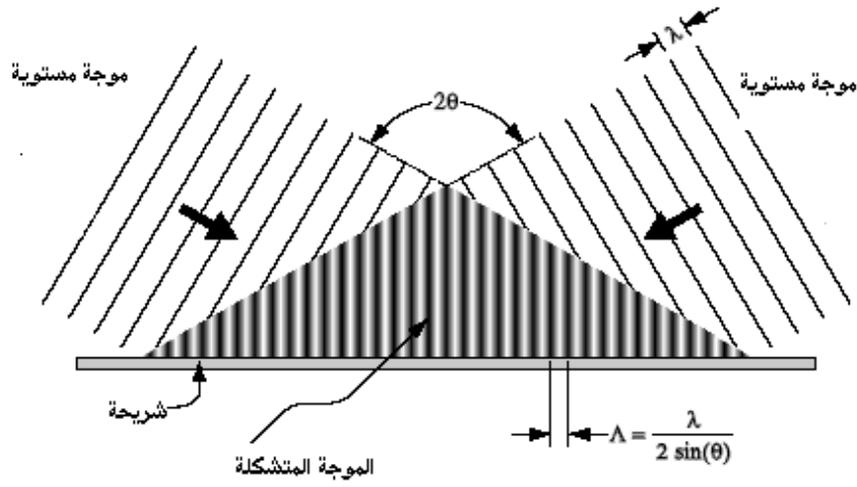
$$\Lambda = \frac{\lambda_{ill}}{2 \sin \theta}$$

$\lambda_{ill}$  : طول الموجى للمصدر الإضاءة

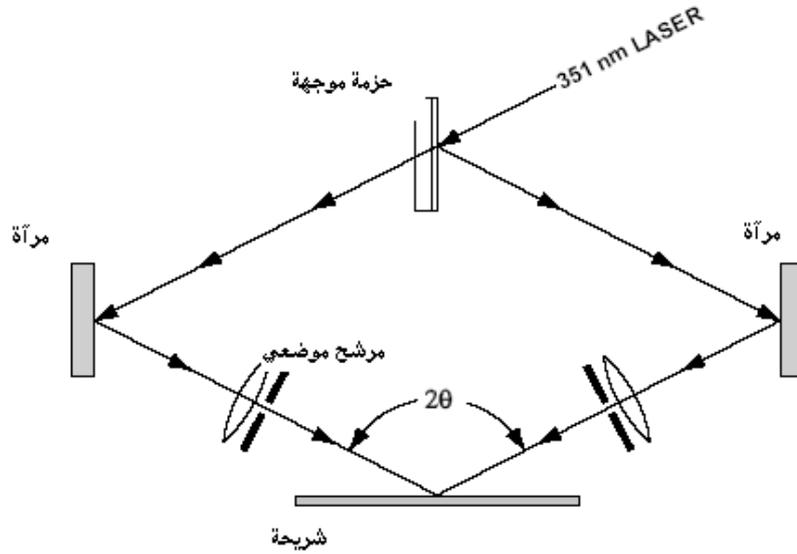
$\theta$  : الزاوية بين موجتين مستويتين متداخلتين.

يمثل (II-10) عمل تطبيقي لهذه التقنية. تنقسم الحزمة الضوئية الصادرة عن ليزر الأرجون لطول موجي موافق 351 nm إلى حزمتين تمر كل حزمة على عدسة و مرشح بعد انعكاسها على مرآة ثم يتدخلان على سطح العينة.

من بين سلبيات هذه التقنية أن الأشعة التي تعكسها العينة، تنشئ كذلك موجة تملك أهداب مضيئة و أهداب عاتمة في الاتجاه القطري، و هذا ما يؤدي إلى تشويه الطابع نتيجة هذا التداخل الجديد و بهذا يكون الدور غير منتظم. نضع مادة غير عاكسة للأشعة فوق الموجه و هذا لتفادي المشكل .



الشكل (II-9): مخطط يمثل الطباعة الضوئية باستعمال التداخل



الشكل (II-10): مخطط يمثل التركيب التجريبي لطريقة الطباعة الضوئية

**II-6-2- طريقة القناع الصلب:**

الخطوات الأساسية لصناعة شبكات براغ المنتظمة المدججة [20] موضحة بالشكل (II-11) ويمكن ذكرها في سبعة مراحل:

**المرحلة 1:**

توضع فوق الطبقة الموجهة طبقة من الكروم التي تحمل القناع الحامل لشبكة براغ المنتظمة. ثم توضع طبقة من مادة التنغستان فوق هذه الأخيرة. كما مبين في المرحلة (1).

**المرحلة 2:**

تغطي طبقة التنغستان بطبقة مقاومة للضوء.

**المرحلة 3:**

يزال الجزء الغير مغطى بالمادة المقاومة للضوء من طبقة التنغستان، فتظهر الطبقة التحتية المتمثلة في طبقة الكروم كما في المرحلة (3)

**المرحلة 4:**

تنزع طبقة الكروم الغير مغطاة بالمادة المقاومة للضوء بواسطة أحماض *RIE*، ثم نزيل الطبقة المقاومة للضوء، تبقي إذن طبقة التنغستان متصلة مع الطبقة الموجهة.

**المرحلة 5:**

تُحدد أبعاد الموجه الضوئي وبالتالي تزال باقي الطبقة الموجهة الغير مغطاة بطبقة التنغستان و التي تصبح بدورها متصلة مع الشريحة.

**المرحلة 6:**

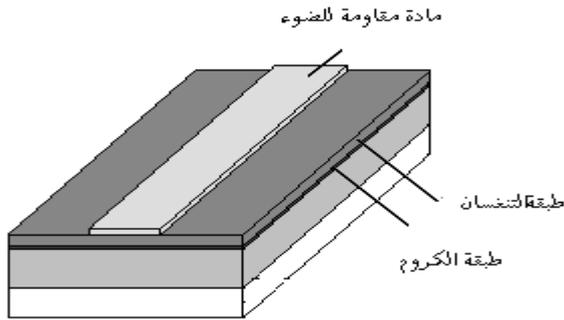
تنزع طبقة التنغستان بواسطة أحماض ويبقى القناع الحامل للشبكة براغ من مادة الكروم فوق الطبقة الموجهة.

**المرحلة 7:**

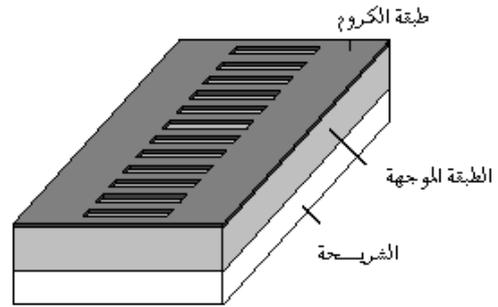
تزال طبقة الكروم بواسطة أحماض *RIE*. تنقش الفراغات الغير مغطاة بمادة الكروم (أخاديد الشبكة) على سطح الطبقة الموجهة. نحصل بالتالي على شبكة براغ منتظمة مدججة سطحيا ذات أبعاد صغيرة جدا.

يوضح الشكلان (12-II) و (13-II) صورة مأخوذة بالمجهر الإلكتروني لشبكة براغ منتظمة مدمجة ذات شكل مستطيل شبكة براغ منتظمة مدمج و شبكة براغ ذات شكل مثلثي. تحقيق بنية ميكروالكترونية تجريبيا يكون باستعمال تكنولوجيا متطورة و دقيقة و حديثة.

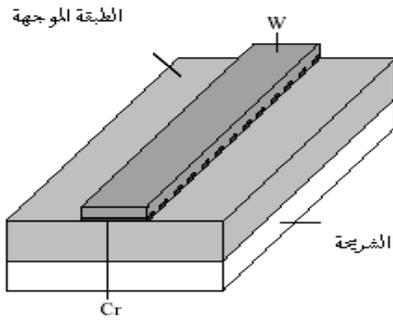
المرحلة الثانية



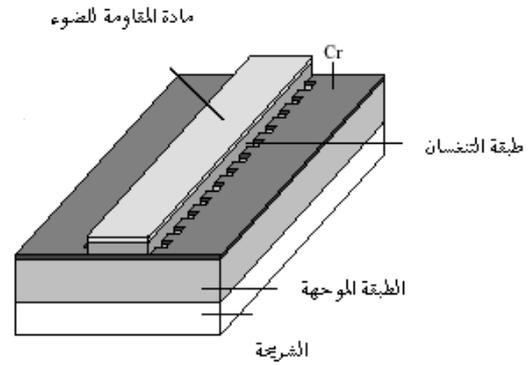
المرحلة الأولى



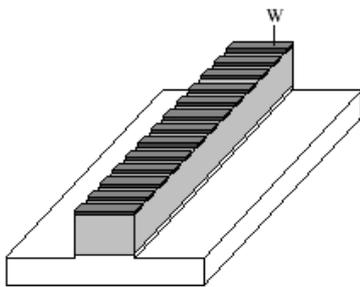
المرحلة الرابعة



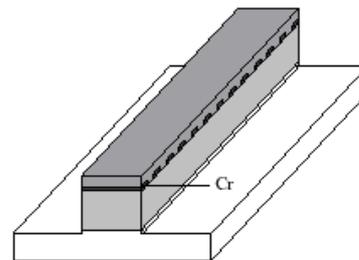
المرحلة الثالثة

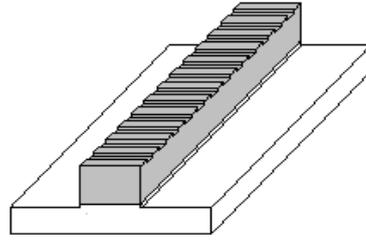


المرحلة



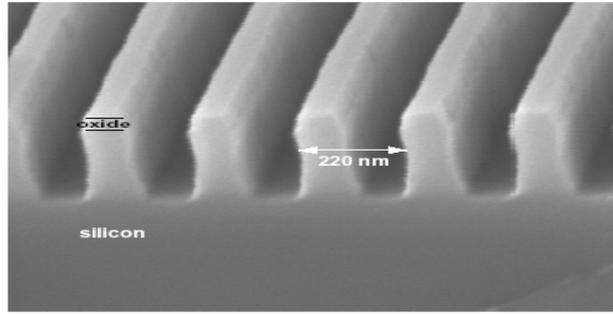
المرحلة



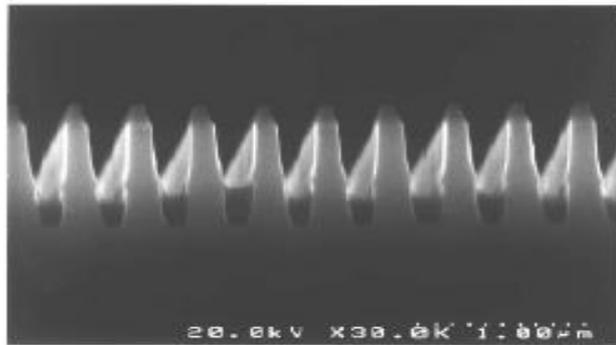


المرحلة السابعة

الشكل (II-11): مخطط مراحل صناعة بشبكات براغ المنقوشة السطحية بطريقة القناع الصلب



الشكل (II-12): صورة بالمجهر الالكتروني لشبكة براغ مستطيلة [3]



الشكل (II-13): صورة بالمجهر الالكتروني لشبكة براغ مثلثية [20]

## IV-7- تطبيقات شبكات براغ :

تعتبر شبكات براغ عنصر فعال في الاتصالات الضوئية حيث يمكن أن نستعملها في تطبيقات عديدة منها:

\* كاشف ضوئي لقياس بعض المقادير الفيزيائية و الكيميائية [21] كالضغط ،درجة الحرارة ..الخ.

\* مرشح ذو انتقائية عالية للطول الموجي [3].

\* تجويف رنين ليزر [19] .

\* مقسم و مجمع للأطوال الموجية بالنسبة لشبكات براغ الغير منتظمة [22] .

## II-8- ملخص

تحتاج شبكات براغ إلى دقة وتكنولوجيا عالية لصناعتها، وهذا لتطبيقات معينة. تعد شبكات براغ بكل أنواعها من أهم المرشحات للأطوال الموجية و يتلخص ذلك في شرط براغ لمبدأ البترشيح. من بين الطرق التحليلية المستعملة لدراسة شبكة براغ المنتظمة المدججة نظرية الصيغ المرتبطة، التي تمكننا من إيجاد طيف الانعكاس و طيف الانبعاث لكل الأطوال الموجية المنبعثة و هذا بتحديد الشروط الحدية الخاصة بالمرشح الضوئي.

يتأثر طيف الانعكاس لشبكة براغ بمعاملات عديدة، وهذا ما سنتطرق إليه في الفصل التالي من خلال المحاكاة العددية لظاهرة الانعكاس التي تظهر مدى تأثير هذه المعاملات.

## المراجع :

- [1] -Matthieu Caussanel , " Tenue au Rayonnement de Composantes Optoélectroniques Destines a L'environnement Spatial " ,Thèse Doctorat ,Université de MONTPELLIER 13 Juillet **2004**.
- [2] -Yannick Merie , " Etude de la Dispersion électromagnétique dans les Matériaux Périodiques Diélectriques Didimensionnele " Thèse Doctorat ,Université de LIMGES ,20 Novembre **2003**.
- [3] -Thomas E Murphy , " Design Fabrication and Measurement Integrated Bragg Grating Optical Filters-Doctor of Philosophy " ,Rice University February **2001**.
- [4] -F.Lemarchand,A.Senlenac , H.Giovanninu , " Increasing The Angular Tolerance of Resonant Grating Filters With Double Periodic Structures " ,Optics Letters .Vol 23.N0 .15 ,August **1998**.
- [5] -J.E.Roman, K.A.Winick , "Neodymium Doped Glass Channel Waveguides Laser Containing an Inergrated Distributed Bragg Refector " , Apply Phys Letters ,Vol.61 (23) , 7 December **1992**.
- [6] Pierre Lecoy," Télécommunications optiques " ,© Hermès , paris **1992**
- [7] -Guido Niederer , " Resonant Grating Filters for Microsystems " ,Thesis of Doctor of Technical Sciences ,University of Neuchatel **2004**.
- [8] Ali Salimini,Alain Villeneuve And All ,"First-and Order Bragg in Single –Mode Planar Waveguides of Chalogenide Glass" , Journal of Lightwave Technology ,Vol .17,N0.5.,May **1999**.
- [9] -Jaeyon Kim, And all , " Design and Fabrication of Low Loss Hydrogenated Amorphous Silicon Overlay DBR for Glass Waveguide Devices " , JEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics ,Vol.8,N0.6,November/Decemder **2002**.
- [10] -Cyril Cabournace , "instabilité spatiales en Milieu de Kerr réseaux de solutions spatiaux et Briuse de symétrique de solutions Multu modes dans guides plan " , Thèse Doctorat Université de France ; 16 , Mai **2003**.
- [11] -Guilhem Almuneau , " Etude et Réalisation de LASER à Cavite Verticale à 1.55 micro-meter sur GaSb " , Thèse Doctorat Université Montpellier; 18 Septembre **1998**.
- [12] Donaied L. Lee, " Electromagnetic Principles of Integrated Optics " , John Wiley & Sons NY ,**1989**
- [13] Jiafeng ZhAo , " An Object Oriented Simulation Program for Fiber Bragg grating " Thesis Master Rand Afrikaans University Jonesburg ,October **2001**.

- [14] Olivier HAEBERLÉ , " Electromagnetic Radiation Generated by Relativistic Electrons Interacting With A Diffractive Grating " Thèse Doctorat, l'Université Louis Pasteur **1994**.
- [15] H.Kogelink , Theodor.Tamir (ed) " Guide-wave optoelectronics " Spring –Verlag-Berlin ,**1990**.
- [16] Andrea Melloni , "Equivalent Circuit of Bragg Gratings and its Application to Fabry Perot Cavities" ,Journal Optics Society of America, Vol.20,N0.2,February **2003**.
- [17] غوقالى مبروك-نمدجة و محاكاة ظاهرة التبادل الأيوني في الزجاج السيليكاتي القلوي –مذكرة ماجستير **2005**
- [18] Frahat Rehouma "Etude de l'échange D'ions A L'argent Dans Un verre AluMinoBorSilicate " ,Thèse Doctorat ,**1994**.
- [19] Tomas.E.Murphy," Integrated optical Grating-Based Matched Filters For Fiber Optic Communications " ,Thesis Mater **1996**.
- [20] -Otte Jakob Homan , " A GaAs/AlGaAs DBR Laser Diode With Side –Coupled Bragg Gratings " , Thesis of Doctor of Technical Sciences ,University of Groningen **1996**
- [21] -G.J Veldhuist and all," An Intergrated Optical Bragg Reflector Used as a Chemo-Optical Sensor " , Appl.Opt .7.I23-I26,**1998**.
- [22] -Mohd Ridzuan Moktar , "Bragg Grating Filters for Optical Networks " ,Thesis Doctor of Philosophy University of Southampton ,January **2005**.

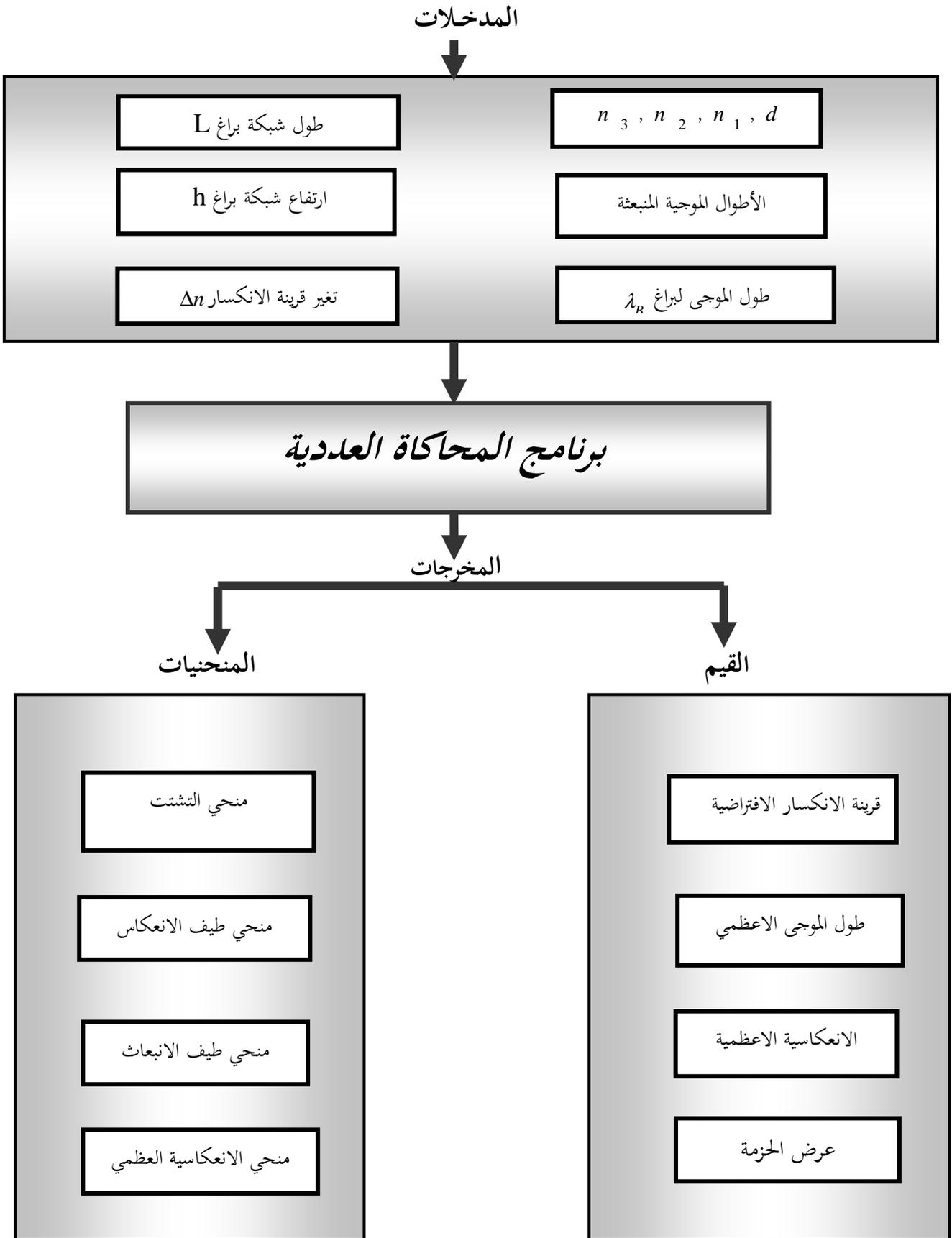
**تمهيد:**

تعرضنا في الفصل السابق إلى الدراسة النظرية للشبكات براغ المنتظمة المدمجة، و في هذا الفصل سنقوم بالمحاكاة العددية لطيف الانعكاس لنوعين من شبكات براغ المنتظمة و هما الشبكات المنقوشة سطحيا والشبكات الحساسة للضوء و ذلك لأهميتهما في الضوء المدمج. الهدف الأساسي الذي يرمي إليه هذا العمل هو إيجاد طيف الانعكاس للموجة الضوئية عند عبورها بنية مضطربة منتظمة، وتأثير أهم المعاملات عليه من بينها قرينة الانكسار للأوساط الثلاث و تغير قرينة الانكسار للشبكات الحساسة للضوء و طول الشبكة و ارتفاعها و تأثير الخطوة، مما يُمكننا من تحقيق شبكة براغ ذات طيف انعكاس محدد و هذا ما سنراه فيما يلي.

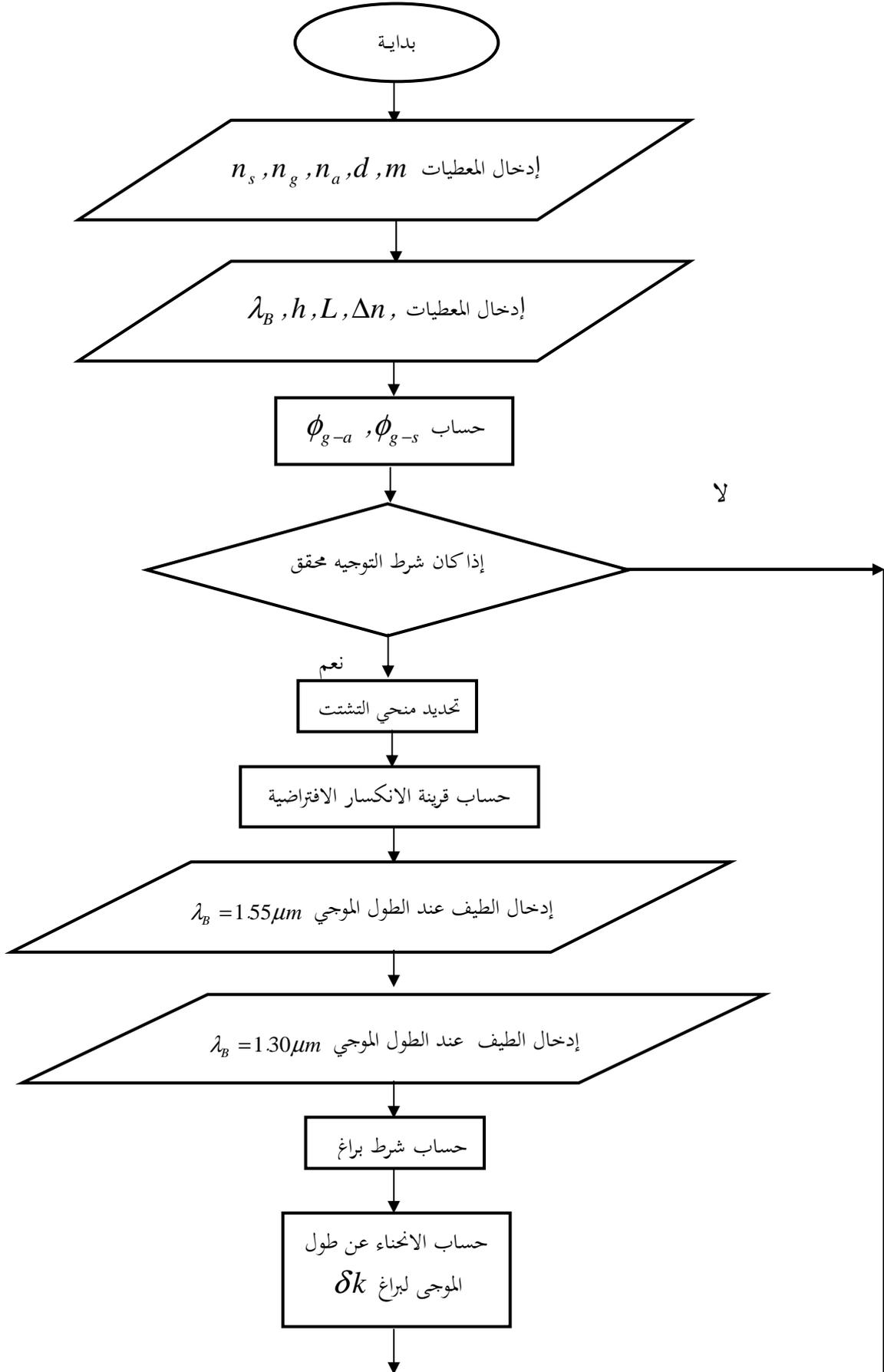
**III-1- محاكاة الظاهرة :**

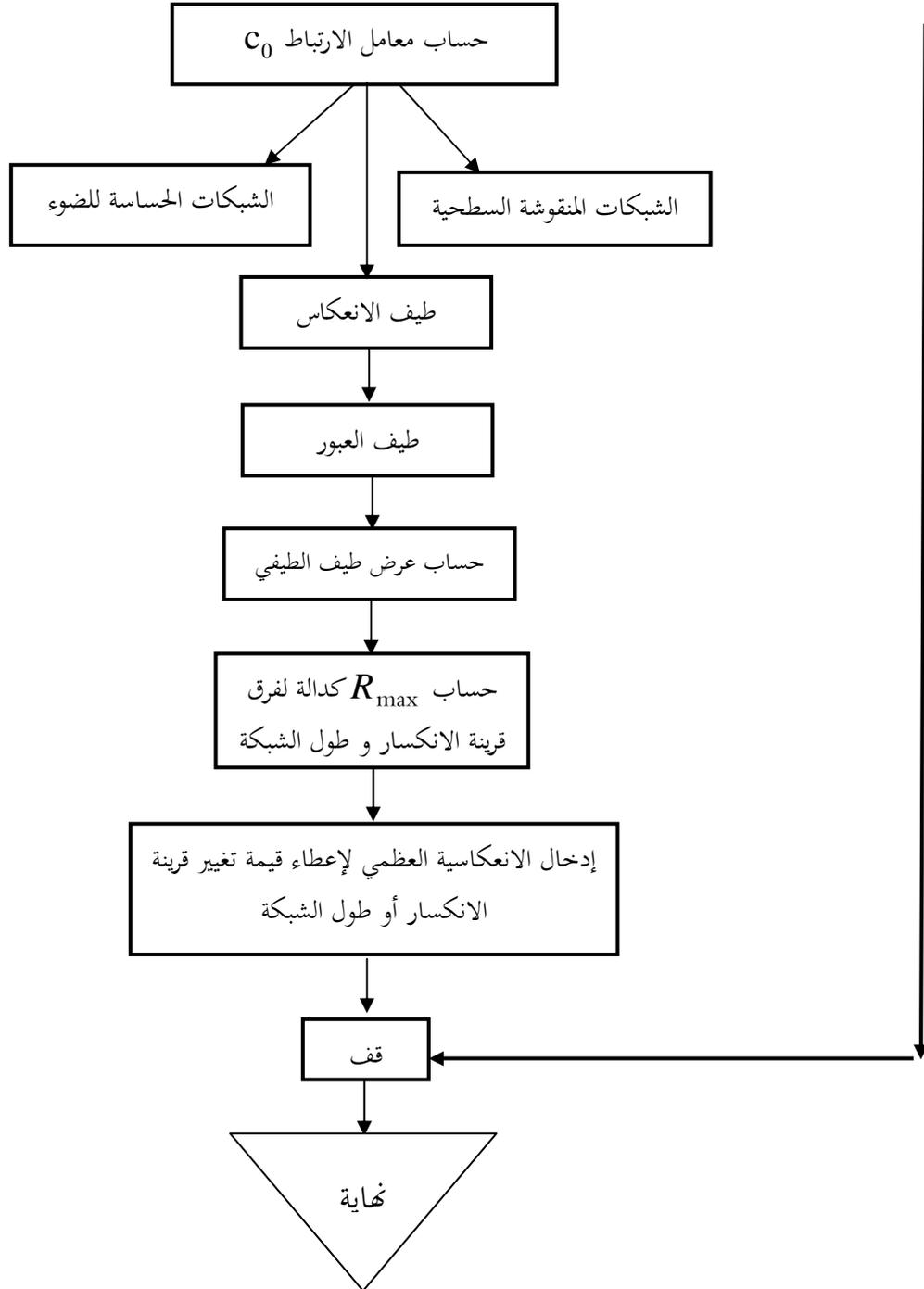
الهدف من محاكاة ظاهرة الانعكاس للشبكات براغ المنتظمة المدمجة إلى معرفة تأثير المعاملات المكوّنة للشبكات بنوعيهما الشبكات المنقوشة سطحياً و الشبكات الحساسة للضوء على طيف الانعكاس.

استعملنا برنامج في لغة البرمجة العددية الفورترن (Fortran 97) للمحاكاة العددية لمعاملات المميّزة للشبكات براغ. المخطط العام للبرنامج الذي يتمثل في إدخال مدخلات متمثلة في قيم المعاملات و بحساب العددي نحصل به على مخرجات، و هي عبارة على قيم و منحنيات كما هو مبين في الشكل (III-1). و هذه الأخيرة تعطينا معلومات عن طيف الانعكاس الناتج من الشبكة. الإجراء الحسابي الذي يمكننا من إيجاد طيف الانعكاس يتمثل في البرنامج، و الخطوات الأساسية المتسلسلة موضحة في الشكل (III-2).



الشكل (III-1): المخطط العام للبرنامج المحاكاة العددية





الشكل (III-2): المخطط الانسيابي لبرنامج المحاكاة

### III-2-2- شبكات براغ المنتظمة المنقوشة سطحياً:

سندرس تأثير بعض المعاملات المميزة للشبكة براغ المنتظمة على طيف الانعكاس و ذلك على شريحة من الزجاج السيليكاتي ، سمك طبقتها الموجهة يساوي إلى  $d = 4 \mu m$  . وهذا لأجل الطولين الموجين لبراغ  $\lambda_B = 1.550 \mu m$  و  $\lambda_B = 1.300 \mu m$  . قيم المعاملات المستعملة في المنحنيات موضحة في الملحق الثاني.

### III-2-1- تأثير قرينة الانكسار الطبقة الموجهة $n_g$ :

من اجل ارتفاع الشبكة  $h = 0.1 \mu m$  و طول الشبكة  $L = 250 \mu m$  ، نلاحظ في منحى تغير طيف الانعكاس كدالة للأطوال الموجية لثلاث قيم لقرينة الانكسار الطبقة الموجهة، أنه كلما كان الفرق في القرينة بين الطبقة الموجهة و الهواء كبير، زادت قيمة الانعكاسية. فبالنسبة للطول الموجى براغ  $\lambda_B = 1.550 \mu m$  تصل إلى  $R = 87.5\%$  ، بعرض حزمة  $\Delta\lambda = 7.4 nm$  (الشكل III-3) . و بنفس الشروط السابقة للطول الموجى  $\lambda_B = 1.300 \mu m$  فان الانعكاسية تصل إلى  $R = 58\%$  و  $\Delta\lambda = 4.83 nm$  كما بالشكل III-4).

### III-2-2- تأثير ارتفاع شبكة براغ $h$ :

من اجل طول الشبكة  $L = 250 \mu m$  وقرينة انكسار  $n_g = 1.4479$  ، نلاحظ في منحى تغير طيف الانعكاس كدالة للأطوال الموجية من اجل القيم الثلاث للارتفاع الشبكة، أنه بزيادة الارتفاع فان الانعكاسية تزيد، يقابلها كذلك زيادة في عرض الحزمة. فمن اجل أكبر قيمة لارتفاع الشبكة  $[h = 0.8 \mu m]$  ، تكون قيمة الانعكاسية بالنسبة للطول الموجى لبراغ  $\lambda_B = 1.550 \mu m$  تصل إلى  $R = 100\%$  و  $\Delta\lambda = 11.8 nm$  الشكل III-5). بالمقابل بالنسبة

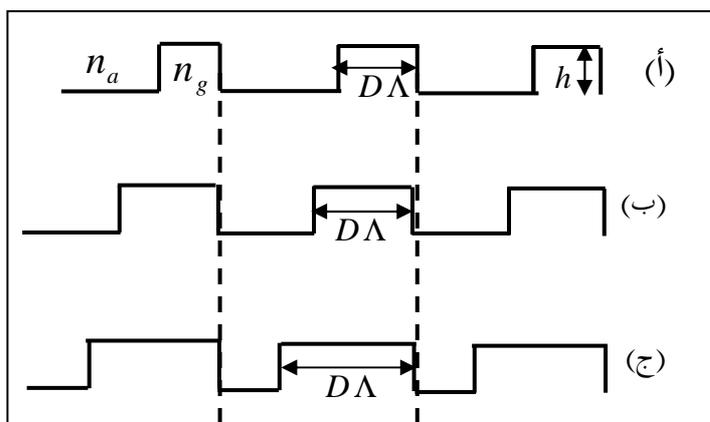
للطول الموجي  $\lambda_B = 1.300 \mu m$  فان  $R = 100\%$  و عرض الحزمة يكون  $\Delta\lambda = 10 nm$ . المبينة في الشكل (6-III).

### III-2-3- تأثير الطول $L$ :

قيم المعاملات المميزة للشبكة ذات ارتفاع  $h = 0.1 \mu m$  وقرينة انكسار الطبقة الموجهة مساوية  $n_g = 1.4449$ ، نلاحظ في منحنيات تغير طيف الانعكاس كدالة للأطوال الموجية من أجل القيم الثلاث للطول الشبكة، أنه كلما زاد طول الشبكة تزيد الانعكاسية و يقل عرض الحزمة. فمن أجل أكبر قيمة للطول الشبكة  $L = 1500 \mu m$ ، نجد انه بالنسبة للطول الموجي لبراغ  $\lambda_B = 1.550 \mu m$ ، تكون أكبر قيمة للانعكاس  $R = 100\%$ ،  $\Delta\lambda = 1.84 nm$  كما موضح في الشكل (7-III). تكون قيمة الانعكاسية من أجل  $\lambda_B = 1.300 \mu m$ ، تكون  $R = 100\%$  و عرض حزمة  $\Delta\lambda = 1.6 nm$  كما هو مبين في الشكل من (8-III).

### III-2-3- تأثير نسبة الخطوة $D$ للطبقة الموجهة :

تأخذ القيمة  $D$  نسبة معينة من جزء الخطوة المشغول بالطبقة الموجهة كما موضح الشكل (9-III) لثلاثة قيم لـ  $D$ . نلاحظ في منحنيات تغير طيف الانعكاس كدالة للأطوال الموجية من أجل القيم الثلاث للقيمة  $D$ ، فانه من اجل  $D$  مساوية إلى 50% تأخذ الانعكاسية أكبر قيمة لها. فالنسبة للطول الموجي  $\lambda_B = 1.550 \mu m$  تصل إلى  $R = 96\%$  و عرض الحزمة مساويا إلى  $\Delta\lambda = 8.06 nm$  المبينة في الشكل (10-III)، أما بالنسبة إلى  $\lambda_B = 1.300 \mu m$  تكون  $R = 52\%$  و  $\Delta\lambda = 4.8 nm$  كما موضح في الشكل (11-III).



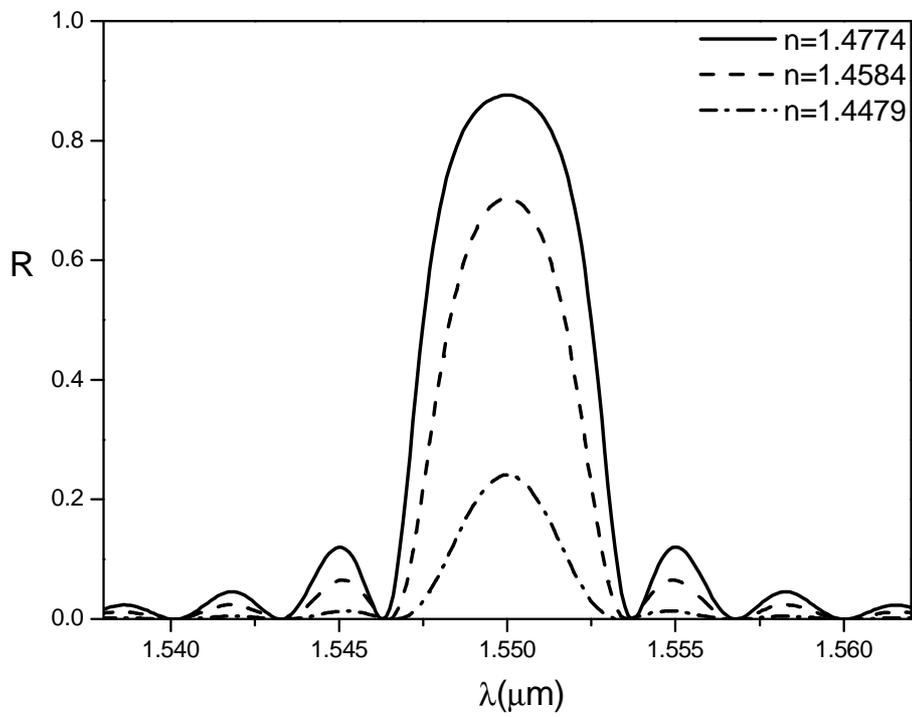
الشكل (III-9): نسبة الخطوة للطبقة الموجهة أ- 20% -ب- 50% -ج- 70%

### III-2-5- تأثير الطبقة العليا $n_a$ :

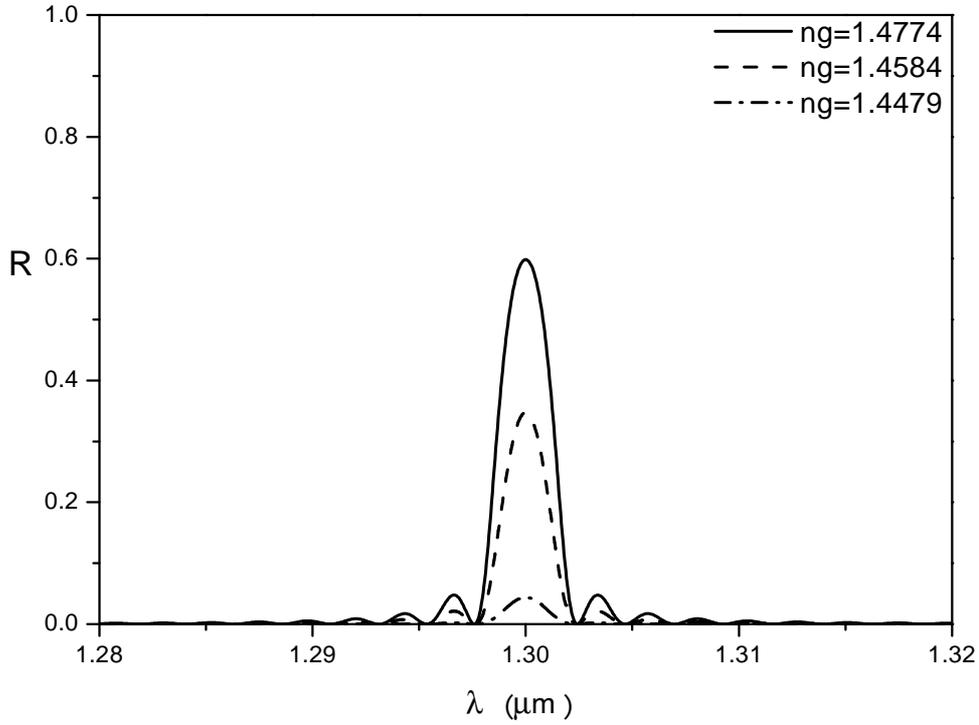
عند تغيير قرينة انكسار الطبقة العليا و المتمثلة في الفراغ بطبقة ذات قرينة انكسار تختلف عن الواحد، سنرى تأثير هذا التغيير على طيف الانعكاس. من منحنيات تغير طيف الانعكاس كدالة للأطوال الموجية لثلاث قيم لفرق القرينة الانكسار بين الطبقة الموجهة و الطبقة العليا، فنلاحظ انه من اجل فرق القرينة بين الطبقة الموجهة و الطبقة العليا صغير فان الانعكاسية تقل في حين أن عرض الحزمة كذلك يقل. فمن أجل التغيير في القرينة يساوي إلى  $\Delta n = 0.0037$ ، فان قيمة الانعكاسية بالنسبة إلى الطول الموجي  $\lambda_B = 1.550 \mu m$  تكون  $R = 77\%$  وعرض الحزمة،  $\Delta \lambda = 1.811 nm$  كما موضح بالشكل (III-12). تكون الانعكاسية عند الطول الموجي  $\lambda_B = 1.300 \mu m$  إلى  $R = 14\%$  وعرض حزمة صغير يصل إلى  $\Delta \lambda = 9 A^0$  كما في الشكل (III-13).

### III-2-6- تأثير السمك $d$ و الارتفاع $h$ :

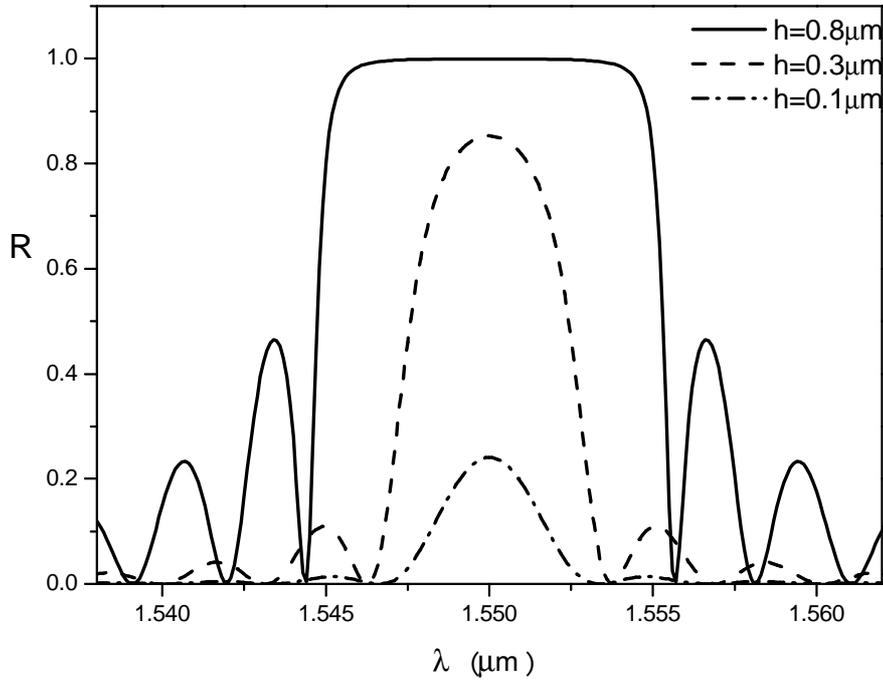
بتغيير السمك للطبقة الموجهة  $d = 10 \mu m$  و ارتفاع الشبكة  $h = 1 \mu m$ ، فان قيمة الانعكاسية للطول الموجي  $\lambda_B = 1.550 \mu m$  تصل إلى  $R = 100\%$ ، و هذا من اجل كل الأطوال الموجية الواردة على الشبكة، بعرض الحزمة كبير يصل إلى  $\Delta \lambda = 39.7 nm$ . فنجد أن كل الأطوال الموجية المنبعثة تعكسها الشبكة و هذا كما موضح بالشكل (III-14). لكن عند بعث حزمة من الأطوال الموجية أكبر من الحزمة السابقة، فإنها ستمرر بعض الأطوال الموجية هذا ما يوضحه طيف العبور لشبكة براغ المنتظمة المدمجة في الشكل (III-15).



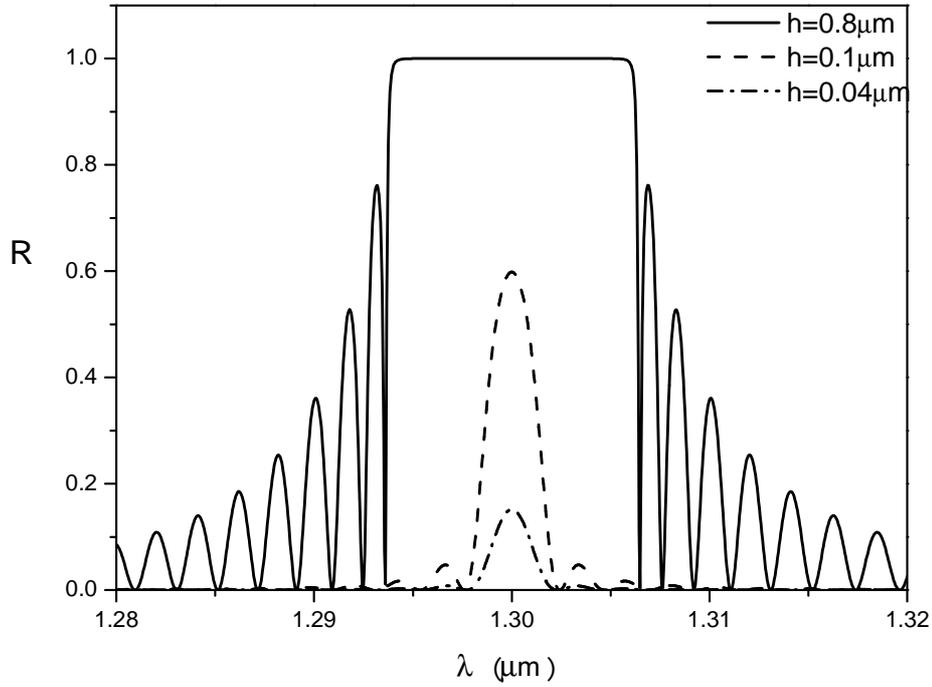
الشكل (3-III): تأثير قرينة الانكسار الطبقة الموجهة على طيف الانعكاس عند  $\lambda_B = 1.550 \mu m$



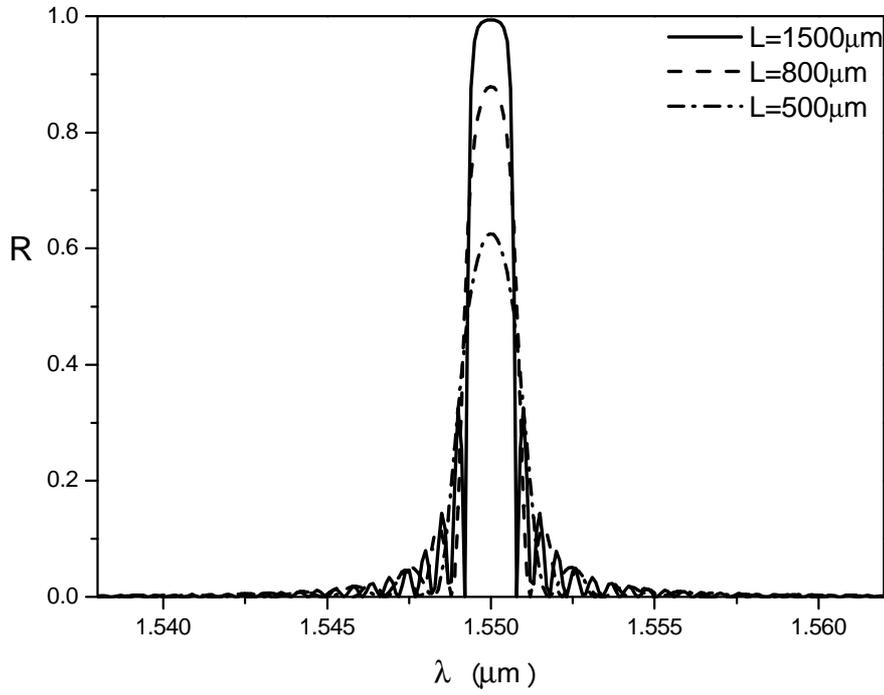
الشكل (III-4): تأثير قرينة الانكسار الطبقة الموجهة على طيف الانعكاس عند  $\lambda_B = 1.300 \mu m$



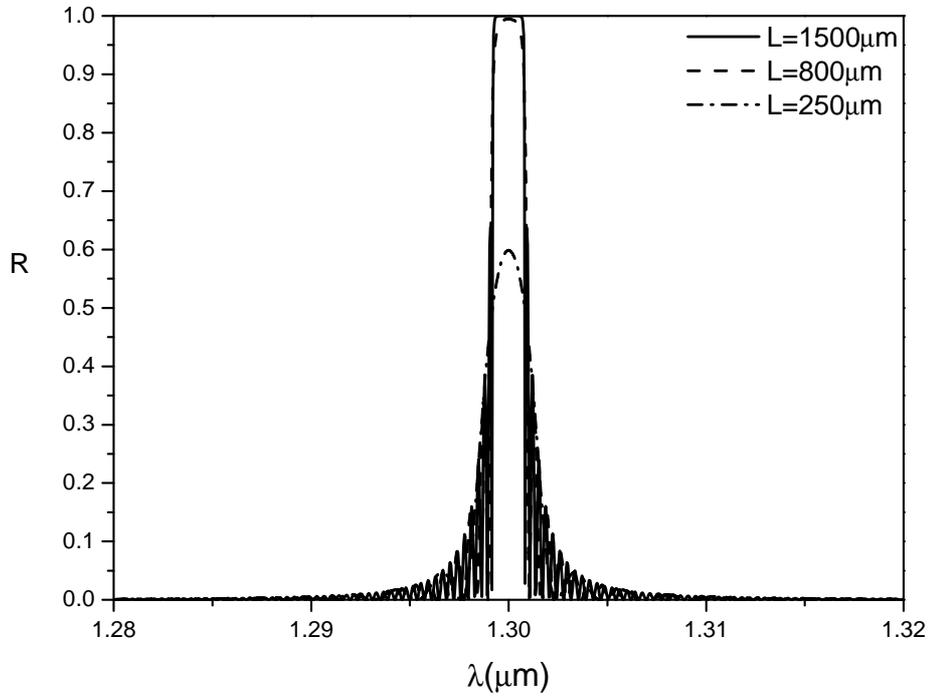
الشكل (III-5): تأثير الارتفاع على طيف الانعكاس عند  $\lambda_B = 1.550 \mu m$



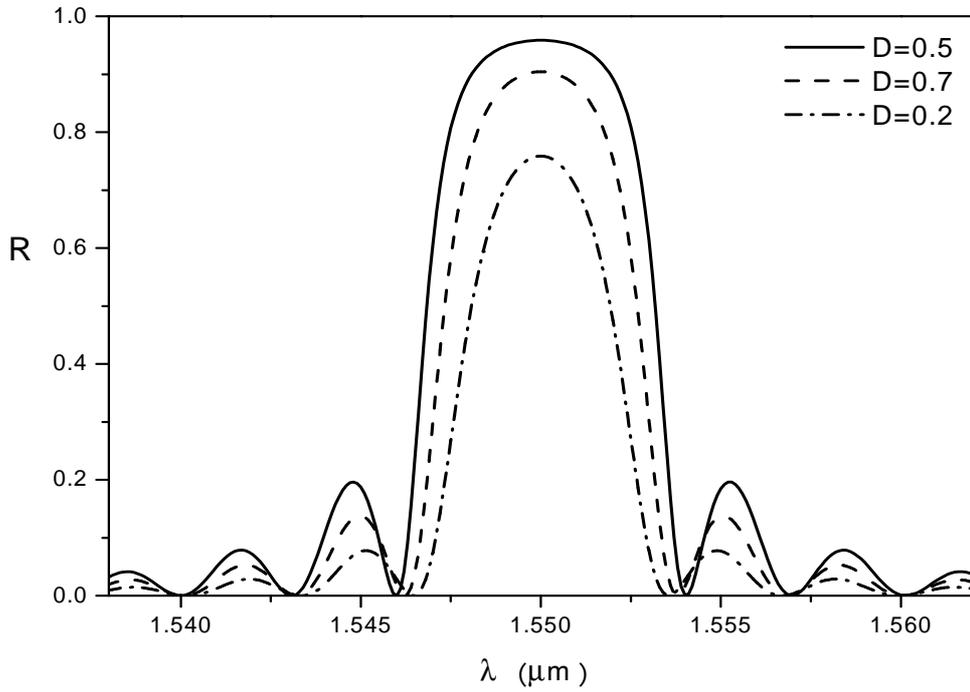
الشكل (6-III): تأثير الارتفاع على طيف الانعكاس عند  $\lambda_B = 1.300\mu\text{m}$



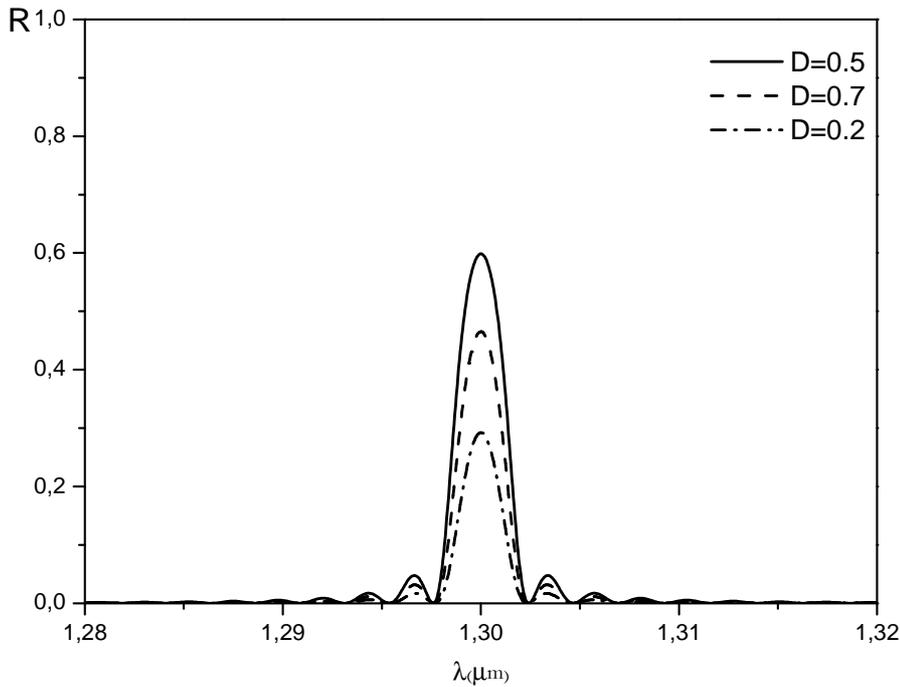
الشكل (III-7): تأثير طول الشبكة على طيف الانعكاس عند  $\lambda_B = 1.550 \mu m$



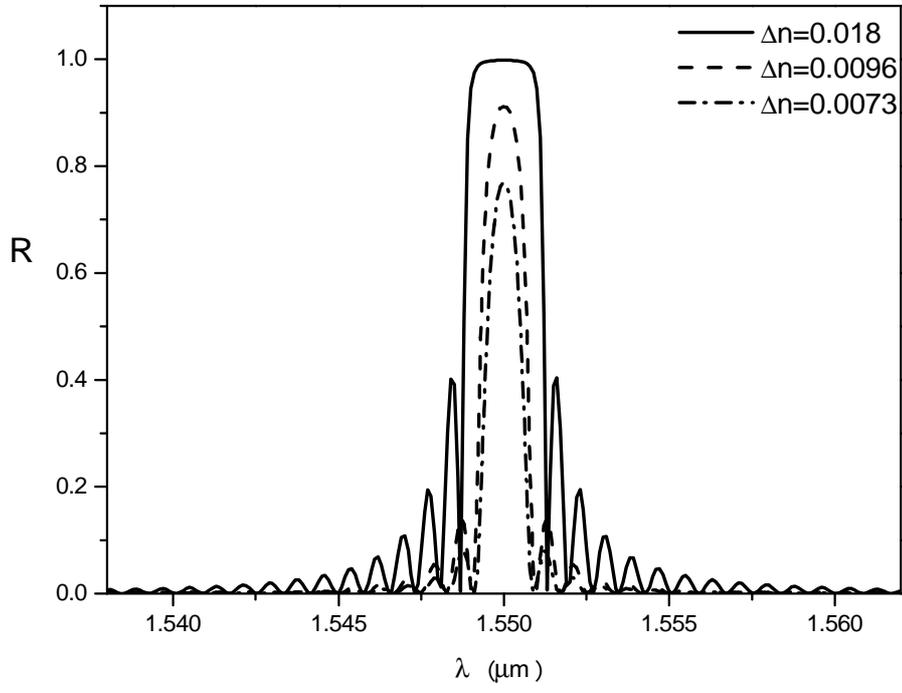
الشكل (III-8): تأثير طول الشبكة على طيف الانعكاس عند  $\lambda_B = 1.300 \mu m$



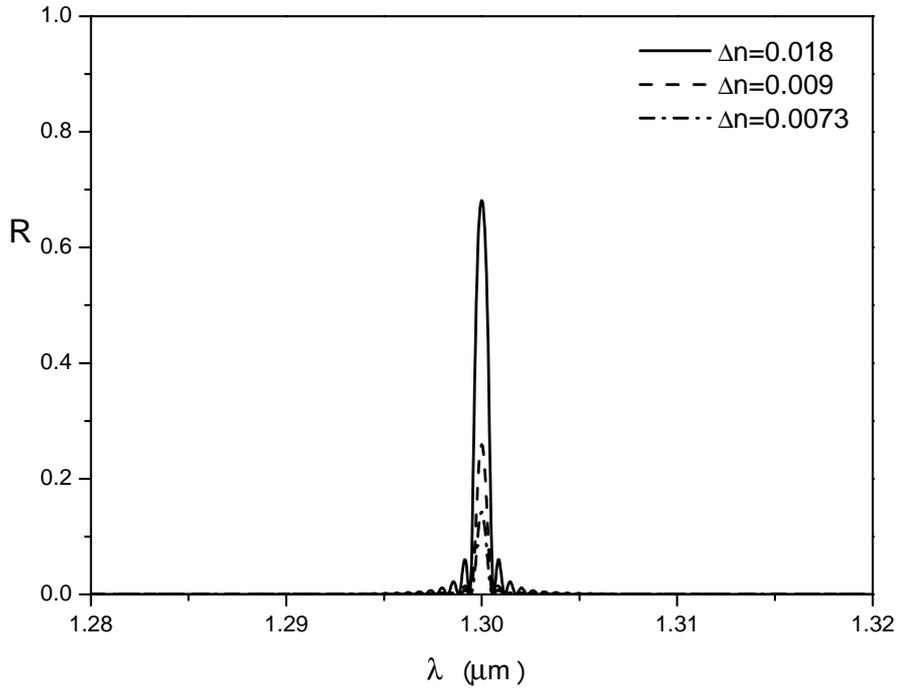
الشكل (III-10): تأثير نسبة الخطوة على طيف الانعكاس عند  $\lambda_B = 1.550 \mu m$



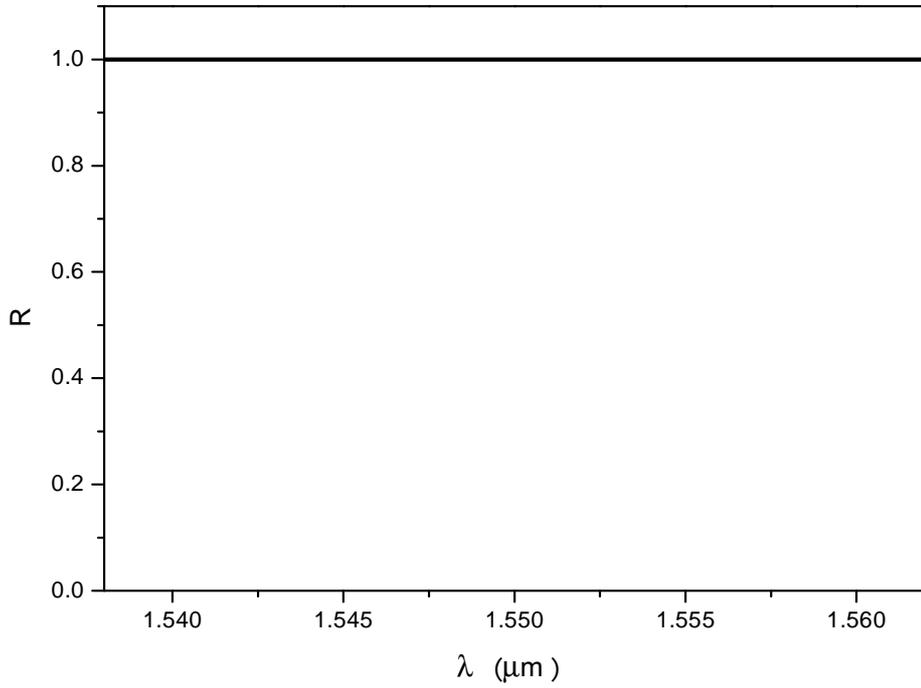
الشكل (III-11): تأثير نسبة الخطوة على طيف الانعكاس عند  $\lambda_B = 1.300 \mu m$



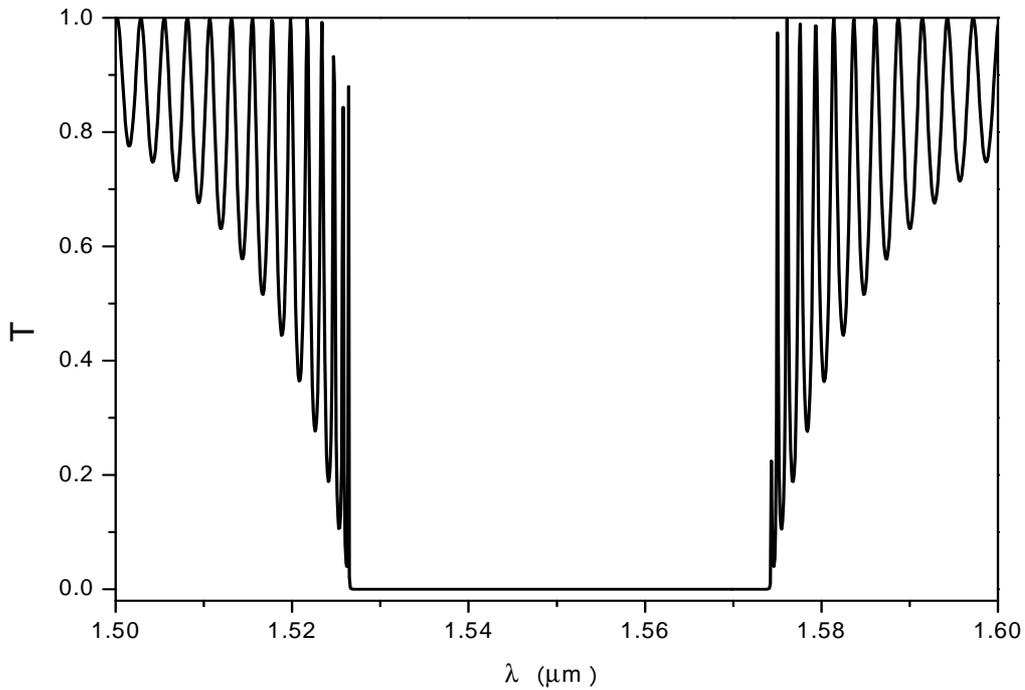
الشكل (III-12): تأثير قرينة الانكسار الطبقة العليا على طيف الانعكاس عند  $\lambda_B = 1.550 \mu\text{m}$



الشكل (III-13): تأثير قربنة الانكسار الطبقة العليا على طيف الانعكاس عند  $\lambda_B = 1.300 \mu m$



الشكل (III-14): طيف الانعكاس من اجل  $d = 10 \mu m$   $h = 1 \mu m$  عند  $\lambda_B = 1.550 \mu m$



الشكل (III-15): طيف العبور للشبكة عند  $\lambda_B = 1.550 \mu m$

## III-3- شبكات براغ الحساسة للضوء.

تتميز شبكات براغ الحساسة للضوء بعاملين و هما: طول الشبكة الذي يتغير بين من  $100\mu m$  إلى  $20000\mu m$  [1] و [2] و تغير قرينة الانكسار المتعلقة بالإضاءة المسلطة و مجال تغيرها  $[1.10^{-5}]$  إلى  $[4.10^{-4}]$  [1] [3] [4].

ندرس تأثير هذين العاملين عند الطول الموجي لبراغ  $\lambda_B = 1.550\mu m$ .  
قيم المعاملات المستعملة في المنحنيات موضحة في الملحق الثاني.

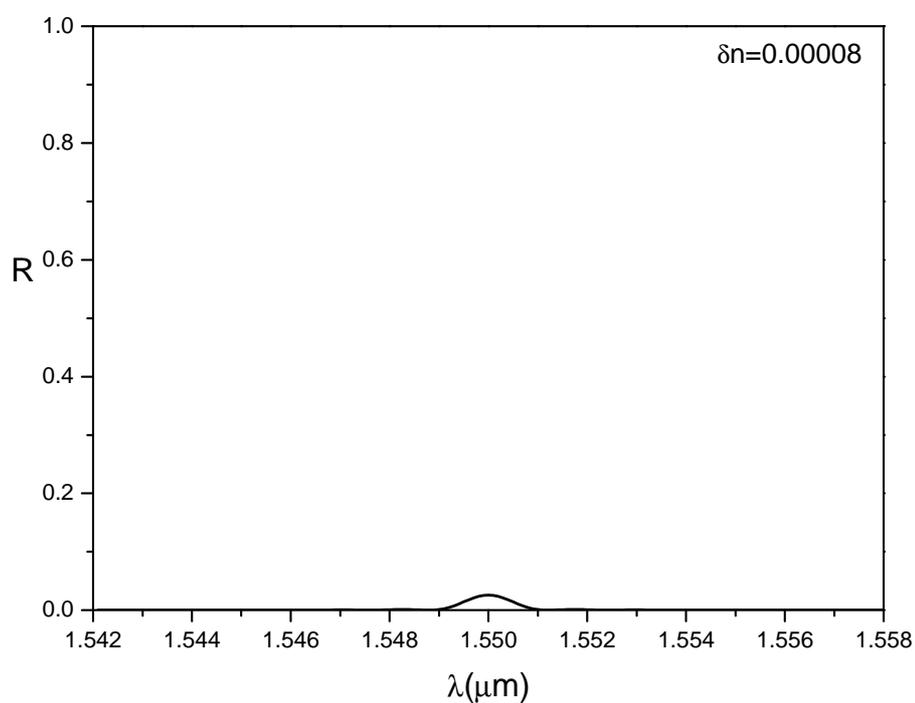
III-3-1- تأثير تغير قرينة الانكسار  $\Delta n$  :

طيف الانعكاس في الشكل (III-16) يبين تغير الانعكاسية كدالة للأطوال الموجية المنبعثة لأربعة قيم لتغير قرينة الانكسار الموضحة في الحالات الأربعة، وهذا من أجل طول الشبكة  $L = 1000\mu m$  والطول الموجي لبراغ  $\lambda_B = 1.550\mu m$  و قرينة الانكسار الافتراضية  $n_{eff} = 1.465$ ، نلاحظ إنه كلما كان التغيير في قرينة الانكسار كبير  $[\Delta n = 0.002]$  فان قيمة الانعكاس للطول الموجي لبراغ تقارب  $R = 100\%$  و يتبعه زيادة في عرض الحزمة يصل إلى  $\Delta\lambda = 2.67 nm$ .

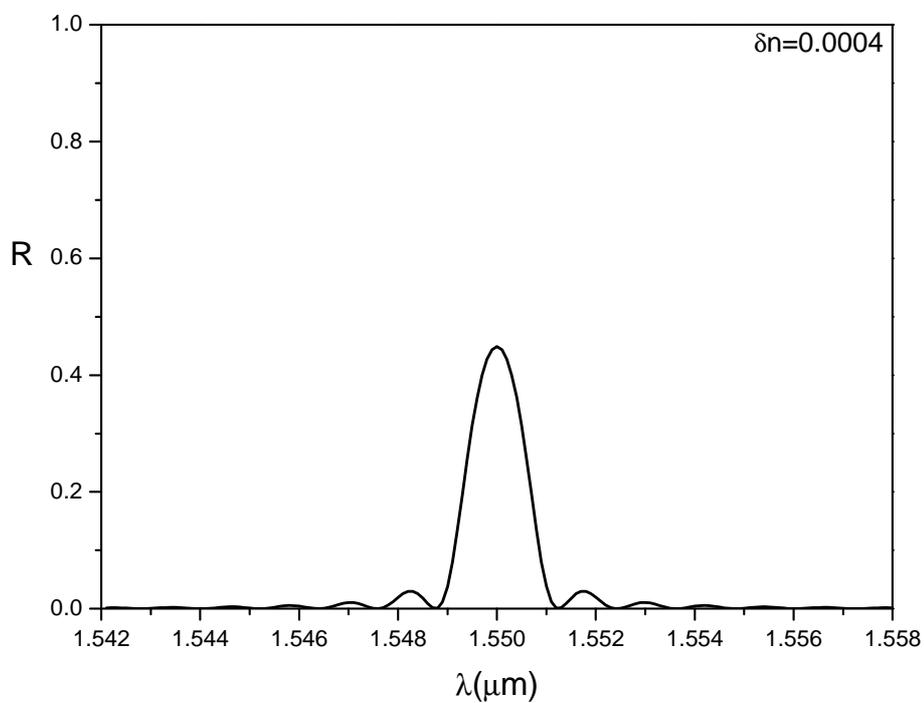
III-3-2- تأثير طول الشبكة  $L$  :

إذا غيرنا طول الشبكة  $[L = 5000\mu m]$  للحالة الرابعة أي عندما يكون التغيير في القرينة الانكسار مساوي إلى  $[\Delta n = 0.002]$  فان طيف الانعكاس للشبكة براغ يكون مختلف، يظهر بشكل واضح تأثير ذلك على العرض الحزمة حيث تصل إلى  $\Delta\lambda = 9.2A^0$  كما مبين في الشكل (III-17).

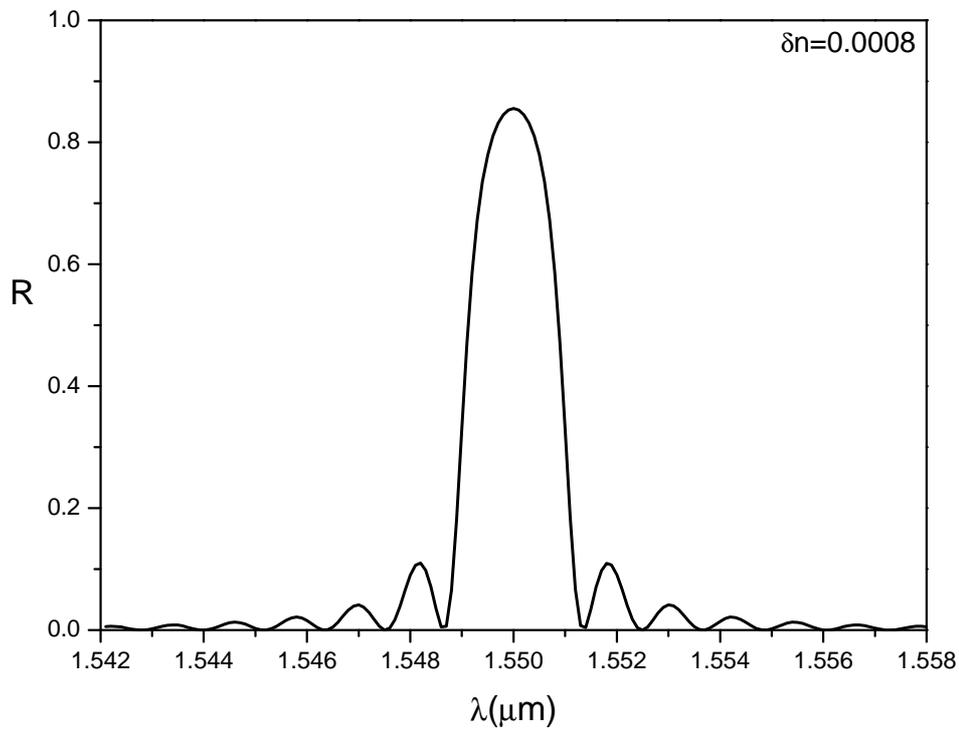
الحالة الأولى



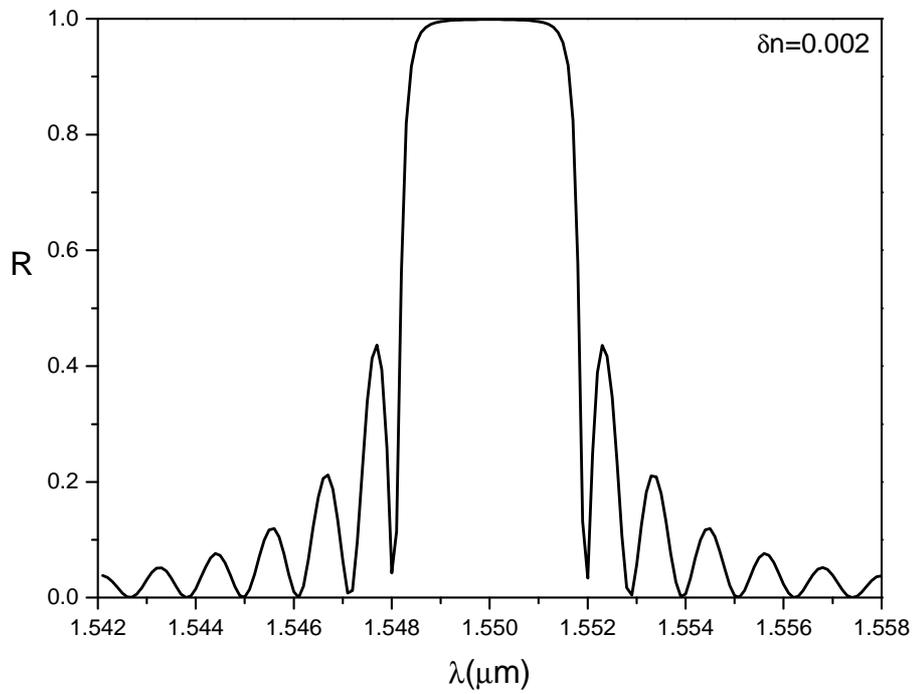
الحالة الثانية



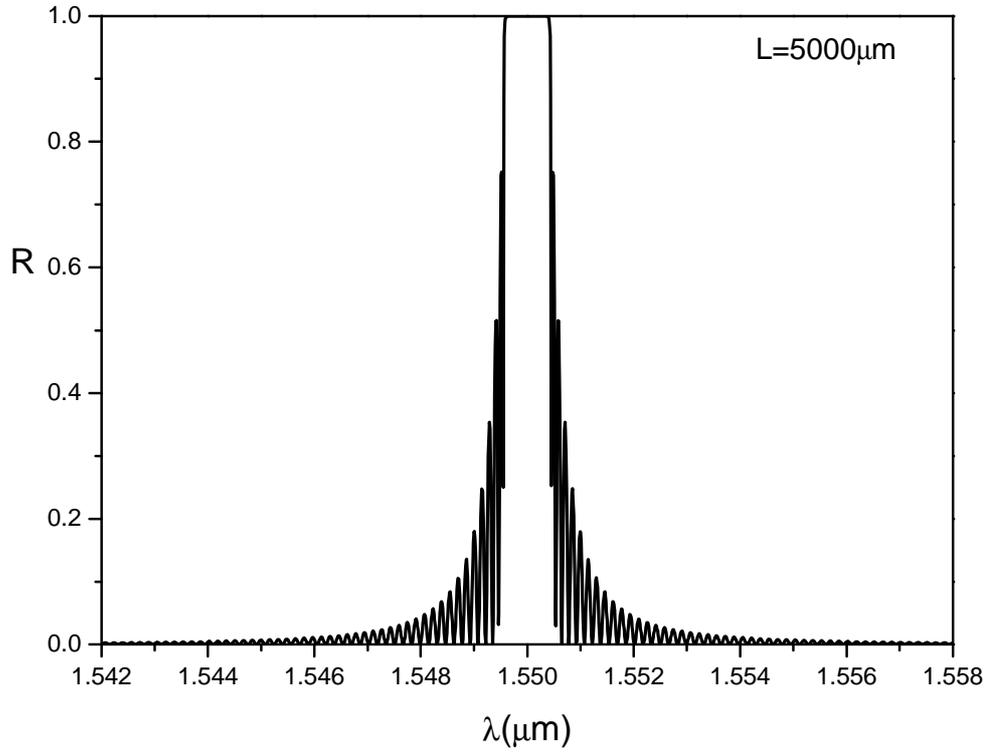
الحالة الثالثة



الحالة الرابعة



الشكل (III-16) : طيف الانعكاس لاربعة قيم لتغير قرينة الانكسار  $\Delta n$ .



الشكل (III-17) : طيف الانعكاس من اجل طول الشبكة  $L = 5000 \mu\text{m}$

### III-4- خصائص طيف الانعكاس لشبكات براغ المدمجة المتجانسة

من خلال الدراسة في الفقرتين السابقتين يتبين أن لطيف الانعكاس لشبكات براغ المنتظمة المدمجة خصائص منها:

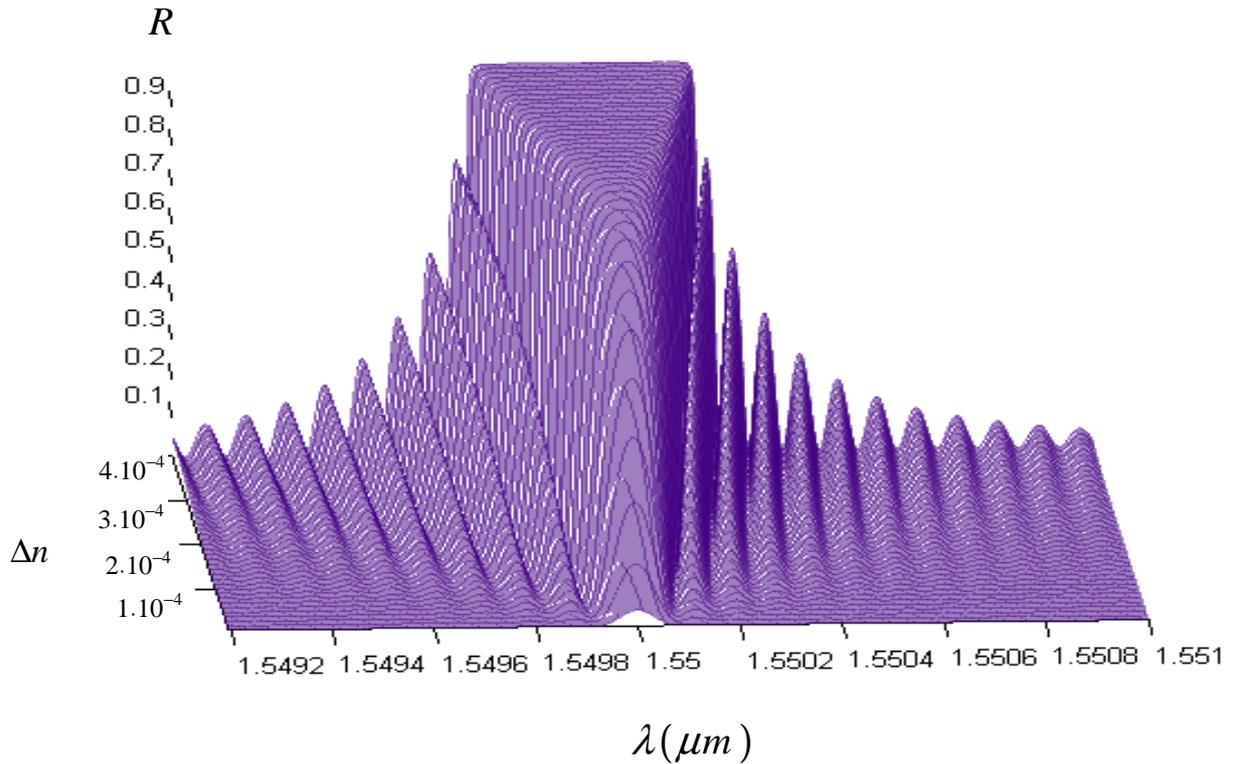
#### III-4-1- عرض الحزمة:

في الشبكات المنقوشة سطحيا يكون عرض الحزمة متناسب مع الفرق في قرينة الانكسار بين الطبقة الموجهة و الطبقة العليا، و ارتفاع الشبكة فكلما كان الفرق في القرينة اكبر كان عرض الحزمة عريض، حيث يزداد هذا الأخير كذلك بزيادة الارتفاع .

تأثير تغير قرينة الانكسار على طيف الانعكاس لشبكات الحساسة للضوء، كما هو موضح

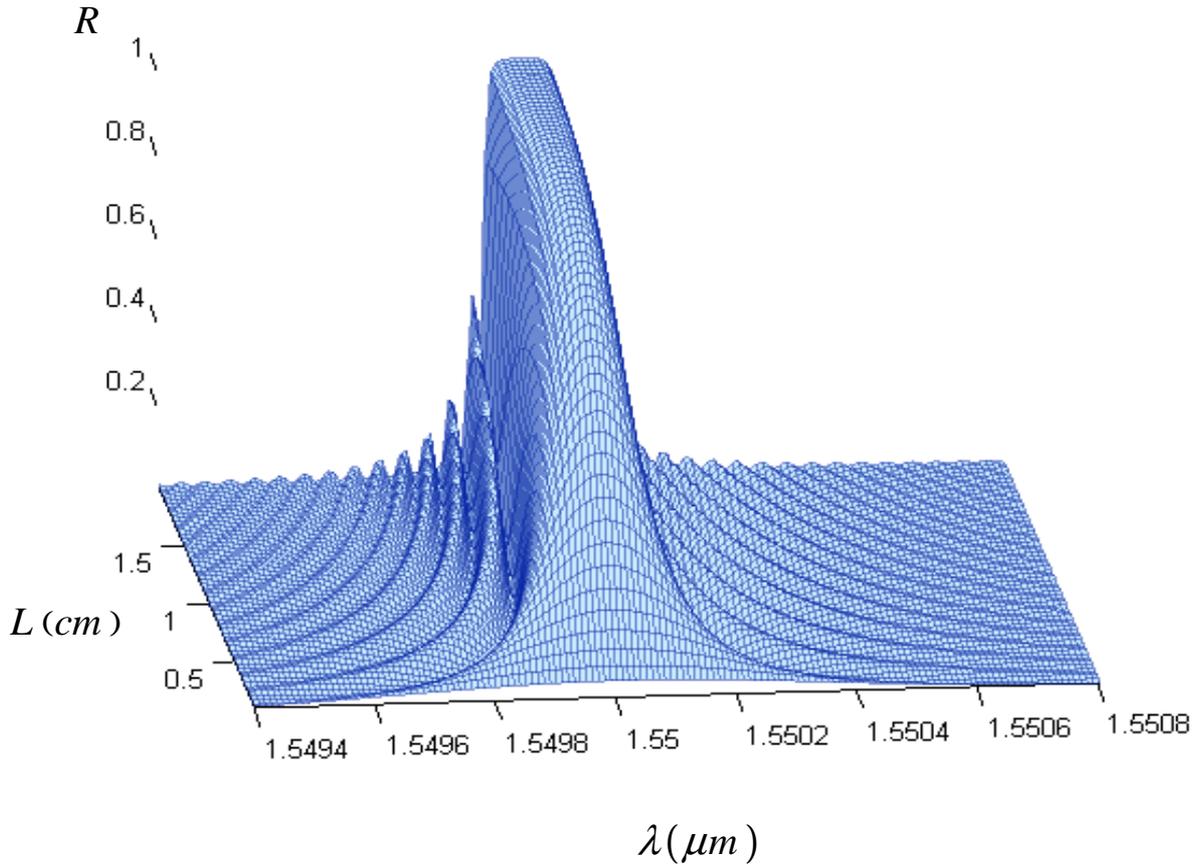
في الشكل (III-18). عندما تتغير  $\Delta n$  [التغير في قرينة الانكسار] من  $[1.10^{-5}$  إلى  $4.10^{-4}$  ]

و طول الشبكة  $L = 10000\mu m$  وقرينة انكسار افتراضية ،  $n_{eff} = 1.465$  ، نلاحظ تناسب بين تغير قرينة بين تغير قرينة الانكسار و عرض الحزمة .



الشكل (III-18): تغير طيف الانعكاس كدالة للأطوال الموجية و تغير قرينة الانكسار  $\Delta n$

تأثير الطول يكون موضح في منحي الانعكاس بالشكل (III-19)، الذي يتغير من [  $1000 \mu m$  إلى  $20000 \mu m$  ] وهذا من اجل  $\Delta n = 0.0001$ ، نلاحظ تناسب عكسي بين طول الشبكة و العرض الطيفي للحزمة الانعكاس.



الشكل (III-19): تغير طيف الانعكاس كدالة للأطوال الموجية وطول الشبكة  $L$

يمكن أن تكون الانعكاسية أعظمية في بعض الأطياف، كذلك في نواحي الطول الموجي لبلاغ  $\lambda_B$ . أصغر قيمة للطول الموجي التي تأخذ الانعكاسية فيها هذه القيمة هي:

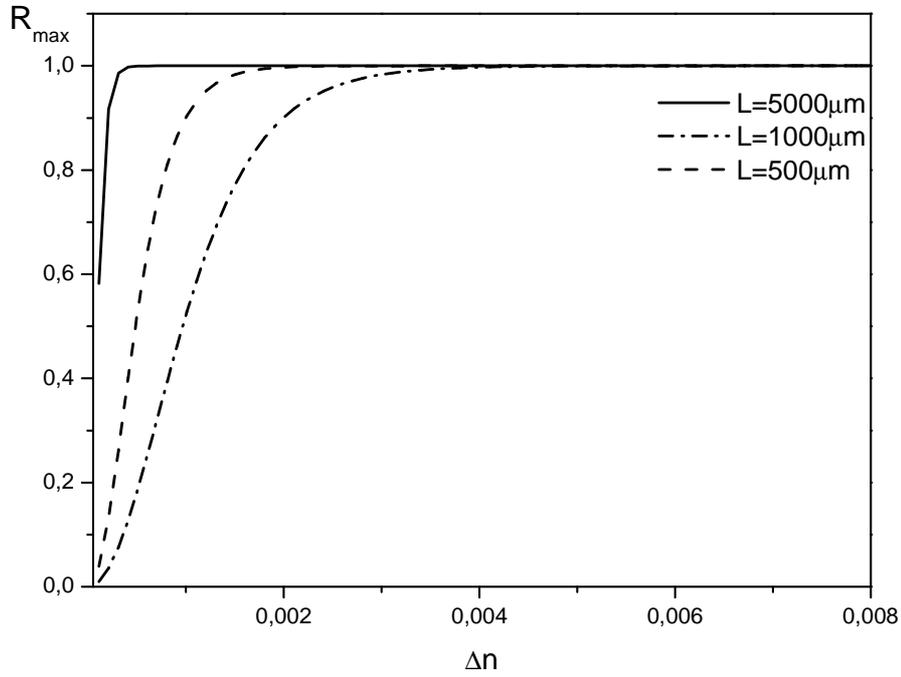
$$\lambda_1 = \left[ 1 + \frac{\Delta n}{n_{eff}} \right] \lambda_B$$

حيث:  $\lambda$  يمثل أصغر قيمة للطول الموجي عند  $R_{max}$ .

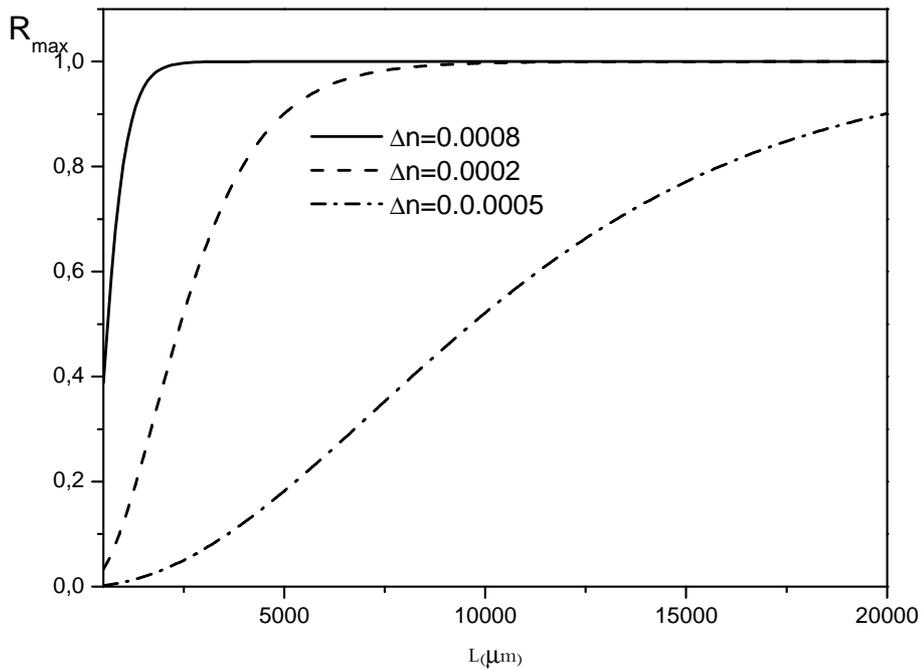
### III-4-2- القدرة المنعكسة الأعظمية:

يوضح الشكل (III-20) منحنى الطاقة المنعكسة الأعظمية كدالة تغير قرينة الانكسار للطول الموجي للشبكات الحساسة للضوء من اجل ثلاث قيم لأطوال الشبكة مختلفة. نستنتج من هذا المنحنى انه يمكننا الحصول على نفس قيمة الانعكاسية لتغيرين لقرينة الانكسار مختلفين إذا تغير طول الشبكة. ويبقى تحسين الشبكة في حسن اختيار تغير قرينة الانكسار وطول الشبكة.

يوضح الشكل (III-21) منحنى الطاقة المنعكسة الأعظمية كدالة لطول الشبكة  $L$  من ثلاث قيم لتغير قرينة الانكسار، يمكن الاستنتاج نفس الملاحظة التي اشرنا إليها عند مناقشة المنحنى السابق.



الشكل (III-20): القدرة المنعكسة الاعظمية كدالة لتغير قرينة الانكسار



الشكل (III-21): القدرة المنعكسة الاعظمية كدالة لتغير طول الشبكة

## III-5- مصداقية برنامج المحاكاة المنجز :

للتأكد من صحة برنامجنا قمنا باستعمال معطيات عددية و تجريبية استعملت [ من طرف باحثين في هذا المجال ] في برنامجنا [2] [1]. وكانت النتائج المحصل عليها في البرنامج متقاربة إلى حد كبير مع المنشورات، وهو ما يؤكد مصداقية برنامجنا حيث يمكن استعماله مستقبلا في تحقيق شبكات براغ المنتظمة و المدمجة ذات انتقائية محددة للأطول الموجية معينة في تطبيقات مختلفة للضوء المدمج. وبالمقارنة تحصلنا على النتائج المدونة في الجدول التالية:

شبكات الحساسية للضوء: النتائج في منشورة عددية.

جدول 1:

البرنامج	المنشورة [1]	البرنامج	المرجع [5]	مقارنة 1
<b>0.937</b>	<b>0.932</b>	<b>0.9901</b>	<b>0.99</b>	$R$
<b>20.20</b>	<b>19.56</b>	<b>0.229</b>	<b>0.23</b>	$\Delta\lambda(nm)$

شبكات المنقوشة سطحيا: باستعمال نتائج قيم معاملات تجريبية منشورة.

جدول 2:

البرنامج	المنشورة [2]	مقارنة 4
<b>0.86</b>	<b>0.90</b>	$R$
<b>0.37</b>	-	$\Delta\lambda(nm)$

## III-6- تحليل النتائج :

يظهر جلياً تأثير بعض المعاملات المكونة للشبكات براغ المنتظمة المدمجة بنوعيتها في منحنيات طيف الانعكاس التي تحصلنا عليها من خلال المحاكاة العددية للظاهرة الانعكاس لشبكات براغ المنتظمة المدمجة . سنري فيما يلي تحليل النتائج المحصل عليها وشرح أهم العوامل التي تساهم في تغير طيف الانعكاس للشبكات. كملاحظة عامة التي يمكننا مشاهدتها في كل منحنيات طيف الانعكاس لنوعان للشبكات براغ السطحية المنقوشة و الشبكات الحساسة للضوء ، أن للمعاملات تأثير يترجم في قيمة الانعكاسية وعرض الحزمة لطيف عند الطول الموجي لبراغ.

من بين المعاملات التي تؤثر على طيف الانعكاس في الشبكات المنقوشة سطحياً فرق قرينة الانكسار بين الطبقة الموجهة و الطبقة العليا ( $n_a = 1$ )، فكلما كان الفرق كبير فان نسبة الانعكاس لطول الموجي لبراغ تزداد وعرض الحزمة يزيد، هذا راجع لان الشعاع الضوئي عند مروره من وسط ذو قرينة انكسار كبيرة إلى وسط لقرينة انكسار صغيرة يعاني انكسار حدّ إلى أن يصل إلى الانعكاس كلي عند الحد الفاصل وبالتالي تتكرر هاته العملية عند كل أحاديذ الشبكة مما يؤدي إلى زيادة شدة الانعكاس عند الطول الموجي لبراغ.

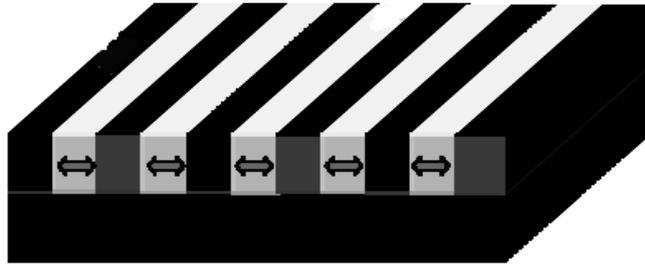
فيما يخص ارتفاع الشبكة، فان تأثيرها واضح خاصة على عرض الحزمة. كلما كان الطيف عريض كانت الانتقائية الشبكة لطول موجي محدد اضعف، يرجع ذلك إلى إن معامل الارتباط بين الصيغ الواردة و العائدة يزداد.

يؤثر طول الشبكة بوضوح على عرض طيف الانعكاس، فكلما كان أكبر كانت الانعكاسية أقوى. يعود ذلك أن الشعاع الضوئي عندما ينعكس عند أحاديذ الشبكة فان الأشعة المنعكسة التي تحقق شرط براغ تتداخل فيما بينها تداخل بناء و بالتالي شدة الانعكاس تزيد.

تقنية صناعية مهمة في الضوء المدمج المتمثلة في التوضّع لطبقة عليا ذات قرينة انكسار أقل من الطبقة الموجهة، كما يظهر بالشكل (III-22)، هذا التغير المتمثل في الطبقة المضافة فوق الطبقة

الموجّهة يعتبر من المعاملات الفعالة و المؤثرة على طيف الانعكاس و التي تحقق انتقائية عالية لطول الموجى وحيد ذو عرض طيفي ضيق جدا.

و مما تظهره منحنيات الانعكاس أن قيمة الطاقة المنعكسة تكون صغيرة مقارنة بالشبكة ذات الأحاديد الفارغة. يفسر ذلك أن تخامد الموجة داخل أحاديد الشبكة يكون معتبرا بحيث يقلل من مشاركة الأطوال الموجية معينة.



الشكل (III-22): مخطط توضع طبقة فوق الطبقة الموجّهة

فيما يخص الشبكات الحساسة للضوء فانه بزيادة تغيير قرينة الانكسار فان الانعكاسية تزيد إلى أن تصل الذروة [إلى الواحد]. يتأثر عرض الحزمة الذي يزداد بزيادتها.

### III-7- ملخص

يمكن القول أننا انخزنا برنامج محاكاة ذو مصداقية عالية يمكنه إعطائنا فكرة صحيحة عن ظاهرة الانعكاس عند شبكات براغ المنتظمة المدمجة. نتائج المحاكاة العددية بينت تأثير عدة معاملات على طيف الانعكاس لشبكات براغ المنتظمة المدمجة بنوعها المنقوشة السطحية و الحساسة للضوء، و هي قرينة الانكسار الموجّه، الارتفاع، طول الشبكة، نسبة الخطوة، قرينة انكسار الطبقة العليا و تغيير قرينة الانكسار للشبكات الحساسة للضوء. يترجم تأثير هذه المعاملات من خلال قيمة الطاقة المنعكسة و العرض الطيفي للحزمة.

باستعمال قيم معاملات محددة نستطيع تحقيق شبكة براغ ذات انتقائية محددة للطول موجى معين و هذا هو الهدف من هذا العمل.

تأكدنا من خلال هذه الدراسة أنه يمكن أن تستعمل شبكة براغ إلى جانب استعمالها كمرشح، عاكس ضوئي. هذا الأخير يمكن أن يكون مرآة للتجويف الرنين لليزر مدمج لليزر المدمج و هذا ما سنراه في الفصل الآتي.

### المراجع :

- [1] Andrea Melloni-"Equivalent Circuit of Bragg Gratings and its Application to Fabry Perot Cavities"-Journal Optics Society of America, Vol.20, N0.2,February **2003**.
- [2] Jose M Casto ,David F .Geragyty-"Demonstration of Conversion using Anti Symmetric Waveguide Bragg Gratings"-Optics Express vol .13.N0.11,**2003**.
- [3] J.E. Roman ,K.A Winick "Neodymium-Doped Glass Channel Waveguide Laser Containing an Integrated Distributed Bragg Reflector" Appl Phys.Lett 61(29) 23 December **1992**.
- [4] -J.E.Roman, K.A.Winick , " Photowitten Gratings in Ion –Exchanged Glass Waveguides " ,Optics Letters ,Vol .18,N0.10,May **1993**.
- [5] Fabio Ghiringhelli –Fundamental Properties of Bragg and Their Application to the Design of Advanced Structure- Thesis Doctor of Philosophy University of Southampton ,December **2003**.

## تمهيد:

إن الدراسة التي أنجزت في الفصل السابق يمكن الاستفادة منها و ذلك باستغلالها في بعض التطبيقات الممكنة لظاهرة الانعكاس. يمكن التحكم في نسبة للانعكاس و ذلك بتغيير بعض المعاملات المميزة للشبكة. ومن هذا المنطلق يمكن استبدال المرآة العاكسة بشبكة براغ العاكسة. و المعروف أن من مكونات الليزر، التجويف الرنيني و هو عبارة عن مرآتان واحدة عاكسة كلياً و الأخرى جزئياً. لذا يمكن استبدال مرآتا التجويف بشبكتي براغ العاكسة. أما الوسط المضخم فيكون موجه بشكل معين في شريحة مطعمة بعناصر الأرض النادرة و وسيلة التضخيم هي مصدر ضوئي خارجي طول موجته يتلاءم مع طول موجة امتصاص عناصر الأرض النادرة.

في هذا الفصل سنتطرق إلى مفاهيم عامة عن الليزر و مكوناته و كذلك الليزر المدمج ونخص بالذكر التجويف الرنيني لهذا الأخير وهذا ما سنراه ما يلي.

## 1-IV- الليزر:

المصطلح الإنجليزي لليزر: "*light amplification by stimulated emission of radiation*"

معناه "تضخيم الضوء بواسطة الانبعاث المحفز". يحتوي كل جهاز مولد لليزر على ثلاث عناصر أساسية الوسط الفعال، وسيلة الضخ، تجويف الرنين (المرنان) و يتمثل من مرآتين متقابلتين أحدهما عاكسة جزئياً و الأخرى عاكسة كلياً. إن توليد أشعة الليزر يحقق بعملية بالانبعاث المحفز، فعند تصادم فوتون يحمل طاقة مساوية إلى فرق الطاقة بين المستوي الطاقى الأول و المستوي الطاقى الأساسي، فإن الإلكترون سينتقل إلى المستوى المثييج فتصبح الذرة في حالة إثارة (التوزيع العكسي). فعند اصطدام الذرة مثارة مع فوتون له طاقة مساوية إلى فرق الطاقة بين المستويين، تكون نتيجة هي انتقال الذرة المثارة للمستوي الأساسي و نحصل على فوتونين لهما نفس الاتجاه و نفس الطور و نفس التردد، تتميز كل حزمة ليزرية بالخصائص الآتية:

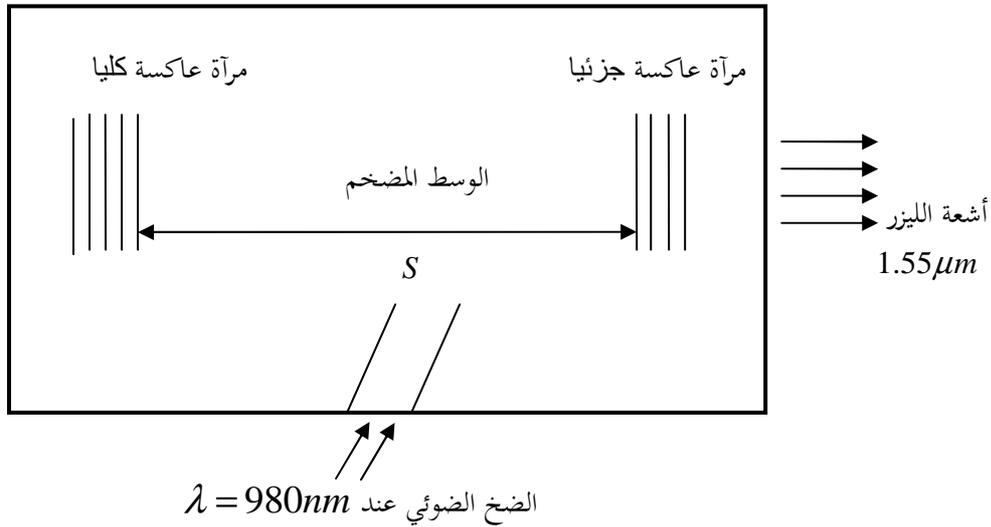
- ✓ الترابط الموضعي و الزمني للأشعة الليزر.
- ✓ الاتجاهية (نفس الطور).
- ✓ أحادية اللون.
- ✓ شدة الإضاءة العالية.

## 2-IV-الليزر المدمج:

للحصول على ليزر مدمج يعمل للأطوال موجية مختلفة، نقترح نموذج بحيث تدمج عناصره الأساسية في نفس الشريحة: الوسط المضخم، وسيلة الضخ، تجويف الرنين. بحوث عديدة خلال 1977 إلى 1980 كانت حول إمكانية تحقيق ليزر في الموجهات الضوئية في المواد المطعمة بعناصر الأرض النادرة، فحقق ليزر مدمج ذو الطول الموجي  $1.081\mu m$  على شريحة بلورية متكونة من  $Nd:LiNbO_3$  ، تجويف الرنين لليزر يحتوي على مرآتين عازلتين موضوعتان على طرفي الموجه و هذا ل طول موجي للضخ  $0.81\mu m$  [1].

نقترح في هذا العمل ليزر مدمج على شريحة أبعادها بعض السنتيمترات. بحيث يمكن دمج كل عناصره الأساسية على نفس الشريحة الموجه الضوئي .

يكون الوسط المضخم من الزجاج الفوسفاتي المطعم بعنصر الاريوم  $Er$ ، بضخ طول موجي  $980nm$ . نضع بدل المرآتين العازلتين شبكتين لبراغ المنتظمة المدجة كما هو موضح في الشكل(1-IV).



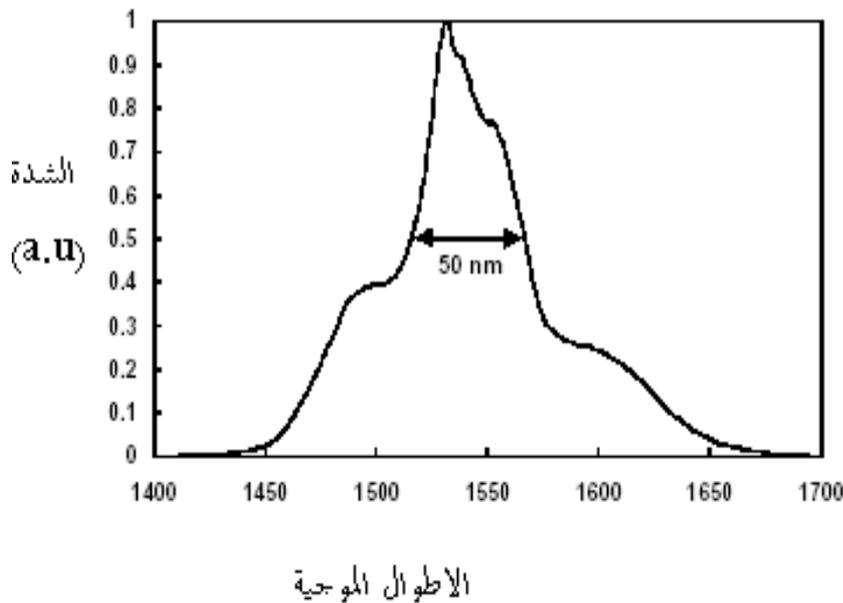
الشكل(1-IV): المخطط المقترح لليزر المدمج

## IV-2-1-الوسط المضخم :

## 2-1-1-الزجاج الفوسفاتي المطعم بعناصر الأرض النادرة :

يعتبر خامس أكسيد الفوسفات ( $P_2O_5$ ) من أهم الأكاسيد المشكّلة للشبكة الزجاجية حيث يُظهر الزجاج الفوسفاتي خصائص فيزيائية مهمة منها [2]: درجة حرارة ذوبان منخفضة، معامل التمدد الحراري عالٍ، درجة حرارة التحول (تغير الطور) منخفضة، إضافة إلى خاصية مهمة هي انحلالية عالية للأيونات الاربيوم  $Er$  (عناصر الأرض النادرة) و التي تستغل في وظائف ضوئية فعالة [3].

الزجاج الفوسفاتي المطعم بعنصر الاربيوم  $Er$  من أشهر المواد المستعملة للتحقيق مضخمت و ليزر عند الطول الموجي  $\lambda = 1.55 \mu m$  في الألياف الضوئية و الضوء المدمج تتميز بـ: مردود كبير، قدرة ضخ منخفضة [4]. وطول موجي الضخ  $\lambda = 980 nm$  وهو الطول الموجي للإثارة (التوزيع العكسي) و هذا لأجل انبعاث طول الموجي 1.55. الانتقالات الإشعاعية للمستويات الذرية للزجاج الفوسفاتي المطعم بعنصر الاربيوم [5] من  $I_{15/2}^4 \rightarrow I_{13/2}^4$  تكون عند انبعاث طول الموجي  $\lambda = 1,500 - 1,600 \mu m$  كما هو مبين في الشكل (2-IV) هذا المجال الطيفي مهم في الاتصالات الضوئية لأنه اقل عتبة امتصاص و اقل توهين [6].



الشكل (2-IV): طيف الانبعاث للانتقالات الإشعاعية  $I_{13/2}^4 \rightarrow I_{15/2}^4$  لعنصر  $Er$  للزجاج الفوسفاتي

المطعم بـ  $Er$ 

## IV-2-2-2- التجويف الرنين (المرنان) الليزر:

يتكون تجويف الرنين من مرآتين متوازيتين تفصل بينهما مسافة، فتكون أحدهما عاكسة جزئياً و الأخرى كلياً. يكون المرنان حساس جداً لشرط التوازي، فأى خلل يسبب خسارة في العمل الليزرى فيكون سببا في انتقال الشعاع عدة مرات داخل التجويف خارج حدود المرآتين.

## IV-2-2-1- أنواع تجويف الرنين في الضوء المدمج:

توجد أشكال عديدة لتجويف الرنين في الضوء المدمج فيكونا مثلا مرآتين متوازيتين مستويتين حيث تكون تقنية استخدامهما بواسطة التبخر أو التوضّع (الترسب) تستطيع شبكة براغ المتعددة الطبقات من أشباه الموصلات للمركبات العمود  $GaAs$   $AlAs$  III-V أن تلعب دور مرآة تصل إلى 100% لليزر ذو انبعاث عمودي [7]. نوع آخر لتجويف رنين لليزر يتكون من ليف بصري حلقي ملحوم بين طرفي الموجّه الضوئي.

مع مرور الزمن نجد الأنواع المذكورة آنفاً لتجويف الرنين ليزر في الضوء المدمج تفقد خاصيتها الأساسية وهي الانعكاس. لتفادي هذا المشكل لشريحة الموجه الموجي في الضوء المدمج نقترح في هذا العمل تطبيق مباشر لشبكة براغ المنظمة المدججة على السطح لتجويف الرنين لليزر بدل المرآة العاكسة للأشعة.

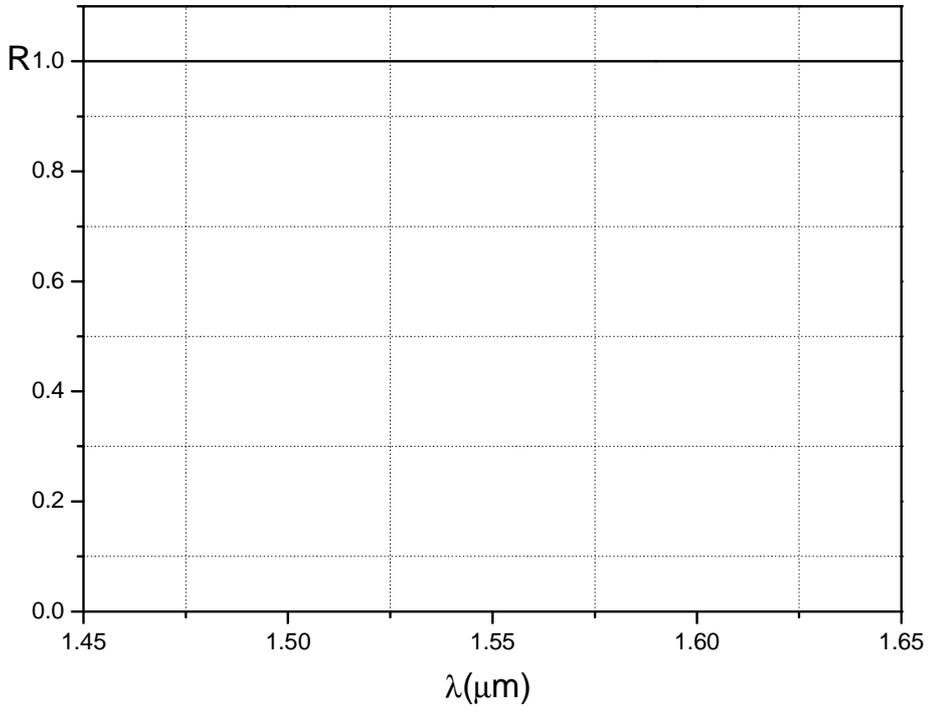
## IV-2-3- مرآيا براغ :

لتحقيق مرآة براغ العاكسة كلياً، نستعمل شروط للمعاملات المميزة للشبكة بحيث يمكنها عكس كل الأشعة الواردة عليها: سمكها  $d = 10 \mu m$  قرينة الشريحة للزجاج الفوسفاتي، و  $n_s = 1.5$  و قرينة الطبقة الموجهة  $n_g = 1.52$  وارتفاع الشبكة  $h = 3 \mu m$ ، و طول الشبكة  $L = 250 \mu m$  فيظهر طيف الانعكاس للشبكة كما هو موضح في الشكل (IV-3).

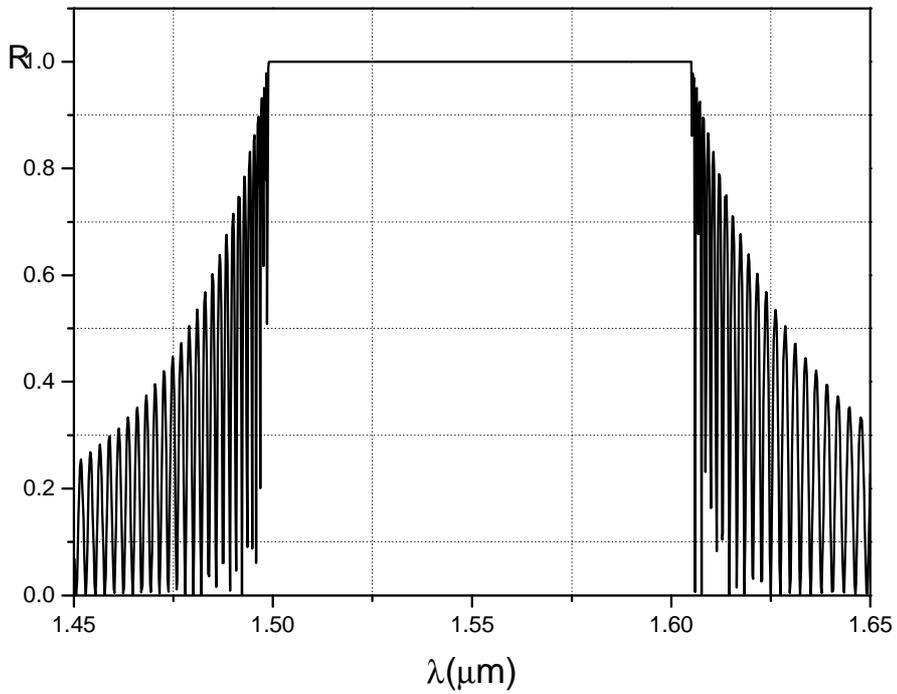
لتحقيق مرآة براغ عاكسة جزئياً، بنفس قيم المعاملات المميزة السابقة بتغيير الارتفاع  $h = 1 \mu m$ . طيف الانعكاس يوضح كما في الشكل (IV-4).

التطبيق العملي للشبكات براغ المنتظمة المدجة المذكورة أنفاً، مثلاً يكون بتقنية القناع الصلب  
الموضح في الفصل الثاني.

الاختلاف بين الشبكتين المنتظمتين المدجتين يكمن في قيمة الارتفاع. فيكون الارتفاع في هذه التقنية  
متناسب مع المدة الزمنية للنقش .



الشكل (3-IV): مرآة براغ عاكسة كلياً



الشكل (4-IV): مرآة براغ عاكسة جزئياً

**IV-3- ملخص**

من خلال ما عرض يمكن تعويض مرآتي التجويف الرنيني في ليزر مدمج بشبكتي براغ العاكسة. و مجموعة العوامل المؤثرة في التجويف الرنيني تؤخذ بعين الاعتبار حسب التقنيات المستعملة للحصول على شبكات براغ وكذلك تكنولوجيات الأوساط المضخمة.

## المراجع:

- [1] E.Laillier " Lasers en Optique Intégrée " WWW.Laser integré **2000** .
- [2] Sidek II.A.A and all " Optical Characterization of Lead Bismuth Phosphate Glass " Am J . Applied Sciences 2(8),1266-1266,**2005**.
- [3] Stavros Pissadakis ,Aris Ikiades "Photosensitivity of ion Exchanged Er Doped Phosphate Glass Uising 248 nm Excimer Laser Radiation " Optics Express ,Vol.12,NO 14, 14 July **2004**.
- [4] G.C.Righihi And All " Integrated Optical and Microphysical Laser Based on Erbium doped Oxides Glass " Journal of Non Crystalline Solids 351 March **2005**.
- [5] H.Portales And All " Investigation of Role of Silver on Spectroscopie Features of Er<sup>3+</sup> Activated Ag –Exchanged Silicate and Phosphate Glass " Journal of Non Crystalline Solids 351 May,1738-1742 **2005**.
- [6] E.V Kolobkovat and all " Formation and Modeling of Optical Waveguide Structures in a High-Concentrations Er-doped Phosphate Glass " J .Phys.D.Appl. Phys.32 (1999) L9 L21 7 **1999**.
- [7] Guilhem Almuneau " Etude et Réalisation de LASERS à Cavité Verticale à 1.55 micro-m sur GASB " Thèse Doctorat , Unversite Montpellier 18 Septembre **1998**.

## حل معادلات الصيغ المرتبطة:

تتغير سعة الصيغ الواردة و العائدة تغيير طفيف ناتج من الاضطرابات الصغيرة في البنية بإعادة كتابة معادلات الاقتران يكون :

$$\frac{da_{+n}}{dz} = -ic_0 [a_n \cos(\gamma.z) + a_{-n} \exp(-i\beta_n.z) \cos(\gamma.z)]$$

$$\frac{da_{-n}}{dz} = ic_0 [a_{-n} \cos(\gamma.z) + a_n \exp(-i\beta_n.z) \cos(\gamma.z)]$$

بأخذ التكامل من الجهتين للمعادلة الأولى فيكون :

$$\int \frac{da_n}{dz} dz = -ic_0 \int (a_n \cos(\gamma.z)) dz - ic_0 \int (a_{-n} \exp(2i\beta_n.z) \cos(\gamma.z)) dz$$

الجزء الأول من المعادلة في الطرف الأيمن يوؤل إلي الصفر لان جداء دالة مهتزة  $[\cos(\gamma.z)]$  جداء دالة صغيرة  $[a_n(z)]$  يكون صفر، وهذا عند  $[z]$  تأخذ قيم كبيرة كما موضح في الشكل أدناه.

الجزء الثاني فيمكن كتابته كما يلي حيث نكتب الدالة جيب تمام بشكلها الآسي:

$$\int a_{-n} \left( \frac{e^{i\gamma z} + e^{-i\gamma z}}{2} \right) e^{i2\beta z} dz = \int a_{-n} \left( \frac{e^{i(\gamma+2\beta)z} + e^{-i(\gamma-2\beta)z}}{2} \right) dz$$

$$\frac{da_n}{dz} = -ic_0 a_{-n} \left[ \left( \frac{e^{i(\gamma+2\beta)z} + e^{-i(\gamma-2\beta)z}}{2} \right) \right] : \text{بأخذ التفاضل للمعادلة تصبح}$$

$$\Rightarrow \frac{da_n}{dz} = -i \frac{1}{2} c_0 a_{-n}(z) e^{i(\gamma+2\beta)z} - i \frac{1}{2} c_0 a_{-n}(z) e^{-i(\gamma-2\beta)z}$$

$$\text{حيث : } \beta = \frac{2\pi}{\lambda} n_{\text{eff}} \text{ و } \gamma = \frac{2\pi}{\Lambda}$$

في الجزء الأول من المعادلة كذلك يكون جداء دالة مهتزة  $[\cos(\gamma+2\beta) + i \sin(\gamma+2\beta)]$  جداء دالة صغيرة  $[a_{-n}(z)]$  فيؤول إلى الصفر. أما الجزء الثاني يكون و ذلك بوضع  $\delta k = \gamma - 2\beta$  :

$$\frac{da_n}{dz} = -i \frac{1}{2} c_0 e^{-i\delta k \cdot z}$$

بنفس الخطوات نقوم بها في معادلة الارتباط الثانية :

$$\frac{da_{-n}}{dz} = i \frac{1}{2} c_0 e^{i\delta k \cdot z}$$

الحل العام لهاتين المعادلتين يكون :

$$a_{\pm n}(z) = a_{\pm n}^0 \exp(\gamma^{\pm} \cdot z)$$

بالتعويض في المعادلات الاقتران يكون:

$$a_n^0 = -i \frac{c_0}{2\gamma} \exp i (\gamma^+ + \delta k - \gamma^-) a_{-n}^0$$

$$a_{-n}^0 = i \frac{c_0}{2\gamma} \exp -i (\gamma^+ + \delta k - \gamma^-) a_{+n}^0$$

من اجل كل قيم  $z$  تحقق المعادلة :

$$\gamma^- = \delta k + \gamma^+$$

بتعويض سعة الصيغ الواردة و العائدة فيكون :

$$4\gamma^+ \cdot \gamma^- = -c_0 \Rightarrow 4\gamma^+ (\gamma^+ - \delta k) = -c_0$$

$$4(\gamma^+)^2 - 4\delta k \cdot \gamma^+ + c_0^2 = 0$$

معادلة من الدرجة الثانية نحسب جذور هاته المعادلة فيكون :

$$\gamma^+ = \frac{\delta k}{2} \pm jQ$$

$$\gamma^- = -\frac{\delta k}{2} \pm jQ$$

$$Q = \sqrt{(c_0/2)^2 - (\delta k/2)^2} : \text{نضع}$$

تصبح السعة الصيغ العائدة إذن:

$$a_{-n}(z) = \exp(-i \delta k z / 2) \cdot (A_1 e^{Qz} + A_2 e^{-Qz})$$

حيث  $A_1, A_2$  ثوابت يمكن تحديدها بالشروط الحدية.

قيم المعاملات لمنحنيات طيف الانعكاس:

$$\lambda_B = 1.3\mu m \text{ عرض الطيفي للطول الموجي } \Delta\lambda_{B2} = 1.55\mu m \text{ عرض الطيفي للطول الموجي } \Delta\lambda_{B1}$$

للمنحني طيف الانعكاس الآتية: الشكل (3-III) و بالشكل (4-III) و (11-III)

الجدول 1:

معاملات			
1.4479	1.4584	1.4774	$n_g$
6.7	7	7.4	$\Delta\lambda_{B1} (nm)$
4	4.7	4.8	$\Delta\lambda_{B2} (nm)$
1.4511	1.4489	1.44	$n_a$
1.2	1.9	2.6	$\Delta\lambda_{B1} (nm)$
0.9	1.1	1.24	$\Delta\lambda_{B2} (nm)$

الجدول 2:  $\lambda_B = 1.55$  :  $D = 0.5$  ,  $L = 250\mu m$  ,  $h = 0.1\mu m$  ,  $ng = 1.4479$

للمنحنيات طيف الانعكاس : الأشكال (5-III) و (7-III) و (9-III) و (10-III)

معاملات			
0.8	0.3	0.1	ارتفاع $h (nm)$
13.2	7.5	6.7	$\Delta\lambda_{B1} (nm)$
1500	800	500	الطول $L (\mu m)$
1.5	2.3	3.5	$\Delta\lambda_{B1} (nm)$
0.7	0.5	0.2	الدور $D$
7.46	8.06	7	$\Delta\lambda_{B1} (nm)$

### الجدول 3:

$$ng = 1.4774 \quad ns = 1.4712 \quad L = 250 \quad h = 0.1 \quad D = 0.5 \quad : \lambda_B = 1.300$$

الشكل: (6-III) و (8-III) و (10-III).

معاملات	—	- - - -	. - . - . -
ارتفاع $h (nm)$	<b>0.04</b>	0.1	0.8
$\Delta\lambda_{B2} (nm)$	<b>4.6</b>	4.8	12
الطول $L (\mu m)$	250	800	<b>1500</b>
$\Delta\lambda_{B2} (nm)$	4.8	2.1	<b>1.6</b>
الدور $D$	0.2	<b>0.5</b>	0.7
$\Delta\lambda_{B2} (nm)$	4.6	<b>4.8</b>	4.7

### الجدول 4:

طيف الشبكات الهلوجرافية :

$$n_{eff} = 1.645 \quad L = 1000 \mu m \quad \text{من اجل}$$

<b>0.002</b>	0.0008	0.0004	0.00008	$\Delta n$
<b>2.67</b>	1.84	1.69	1.6	$\Delta\lambda_B (nm)$

## المصطلحات الفيزيائية

English	Français	عربي
Optic fiber	Fibre optique	الألياف الضوئية، البصرية
Polarisation	Polarisation	استقطاب
Electromagnetic radiation	Rayonnement électromagnétique	إشعاع كهرومغناطيسي
Infrared ray	Rayons infrarouge	أشعة تحت الحمراء
Ultraviolet radiation	Rayonnement ultraviolet	أشعة فوق البنفسجية
Evanescent waves	Ondes évanescentes	الأمواج المتخامدة (المضمحلة)
Light of propagation	Propagation la lumière	انتشار الضوء
Spectral selectivity	Sélectivité spectrale	انتقائية طيفية
Reflux ion	Réflexion	انعكاس
Ionic changed	Echange ionique	تبادل الأيوني
Cavity resonator	Cavité résonnante	تجويف الرنين، رنان فجوي
Optical cavity	Cavite optique	تجويف ضوئي
Cut – off frequency	Fréquence de coupure	تردد القطع
Modulation	Modulation	تضمين
attenuation	D'affaiblissement ,atténuation	تحويل
Dielectric constant	Constante diélectrique	ثابت العزل الكهربائي
Filed electric	Champ électrique	حقل الكهربائي
Light guide	Guide de lumière	دليل، موجه ضوئي
Period	Période	دورة، خطوة
Angle of reflexion	Angle de réflexion	زاوية الانعكاس
Angle of refraction	Angle de réfraction	زاوية الانكسار

Angle of incidence	Angle d'incidence	زاوية الورود
Glass	Verre	زجاج
Velocity of propagation	Vitesse de propagation	سرعة الانتشار
Velocity of light	Vitesse de la lumière	سرعة الضوء
Phase velocity	Vitesse de phase	سرعة الطور
Group velocity	Vitesse de groupe	سرعة المجموعة
Wave amplitude	Amplitude d'onde	سعة الموجة
photosensitive gratings	Réseaux photosensibles (holographiques)	شبكات حساسة للضوء
Relief grating	Des réseaux gravés (relief de la surface)	شبكات منقوشة سطحيا
No-uniform grating Bragg	Réseau de Bragg no-niforme	شبكة براغ الغير منتظمة
Uniform grating Bragg	Réseau de Bragg Uniforme	شبكة براغ المنتظمة
Grating reflector	Réseau réflecteur	شبكة عاكسة
Graded –Index Profiles	Profile gradient d'indice	شكل (بيان) القرينة المتدرج
Optics intergrated	Optique intégrée	ضوء مدمج
Optic	Optique	ضوئي، بصري
Guided –mode poyting power	L'énergie poyting de mode guide	طاقة الصيغ الموجهة
Phto-lithograpy	Photoglyptographie	طباعة ضوئية
Phase	Phase	طور
Wavelength	Longueur d'onde	طول الموجي
Emission spectrum	Spectre d'émission	طيف الانبعاث
Wave vector	vecteur d'ondes	عدد الموجي
Bragg s law	Loi de Bragg	قانون براغ
Index of refraction	Indice de réfraction	قرينة الانكسار
Buried channel	Guide induit	قناة مدفونة، محجوبة
Hard mask	Mask solide	قناع الصلب
Laser integrated	Laser intégrée	ليزر مدمج

Simulation	Simulation	محاكاة
Grating	Réseau	محزوز, شبكة
Light filter	Filtre optique	مرشح ضوئي
Optical length	Trajet optique	مسار بصري, ضوئي
Valid	Validité	مصادقية
Amplifier	Amplificateur	مضخم
Doped	Dope	مطعم
Dispersion	Equation de Dispersion	معادلة التشتت
Wave equation	Equation d'onde	معادلة الموجة
Parameter	Paraméter	معامل
Reflection coefficient	Coefficient de réflexion	معامل الانعكاس
Coefficient of coupling	Coefficient de couplage	معامل التقارن
Transverse electric wave	Onde transversale électrique	موجة كهربية مستعرضة
Electromagnetic wave	Onde électromagnétique	موجة كهرومغناطيسية
Reflected wave	Onde réfléchie	موجة منعكسة
Raised strip	Relief guide	موجه بارز
Waveguide	Guide d'onde	موجه، (الدليل) الضوئي
Lorentz Reciprocity theorem	La théorie de Réciprocité Lorentz	نظرية التعاكس للورانتز
Coupled mode theory	La théorie de modes couplées	نظرية الصيغ المرتبطة
Coupled modes theory	La théorie Modes couplés	نظرية صيغ المرتبطة
Spectral purity	Monochromie pureté spectrale	نقاوة طيفية
Etch	Gravure	نقش، نحت
Mode	Mode	نمط، صيغة، نسق

## ملخص

تعد شبكات براغ المنتظمة بأنواعها المختلفة من أهم المرشحات الضوئية في الضوء المدمج. الهدف من هذا العمل هو دراسة تأثير معاملات شبكة براغ المنتظمة على الانتقائية الطيفية في الموجهات الضوئية و تطبيق ذلك في التجويف الرنين ليزر مدمج. قسمت الدراسة إلى جانب نظري ممتثل في دراسة نظرية لانتشار الضوء في شبكة براغ المنتظمة وذلك باستعمال نظرية الصيغ المرتبطة و جانب عددي ممتثل في المحاكاة لظاهرة الانعكاس، و هذا باستعمال برنامج في الفورترن يمكننا هذا الأخير من معرفة تأثير المعاملات المميزة للشبكة على الانتقائية الطيفية. تأكدنا من صحة هذا البرنامج بالمقارنة مع أعمال منشورات و كانت النتائج مرضية. يمكن استغلال هذه الدراسة في تطبيقات معينة في الكهروضوئي وذلك بتحقيق شبكة براغ ذات انتقائية محددة للطول موجي معين.

*الكلمات المفتاحية:* الضوء المدمج-مرشحات ضوئية-شبكات براغ المدمجة-نظرية الصيغ المرتبطة-ليزر مدمج.

## Résumé

Les réseaux de Bragg uniform sont considérés comme des filtres optiques dans l'optique intégrée. Le but de ce travail est l'étude de l'influence des paramètres d'un réseau de Bragg uniforme sur la sélectivité spectral dans les guides d'ondes et l'application de cette étude sur la cavité résonnante d'un Laser intégré. Ce travail a été divisée en deux parties : la première partie est l'étude théorique de la propagation de la lumière dans un réseau uniforme utilisant la théorie des modes couplés, la deuxième partie est la simulation numérique du phénomène de la réflectivité de ce réseau en utilisant un programme Fortran. Le programme a été validé par une comparaison avec des travaux publiés les résultats obtenus sont satisfaisants. Notre étude pourra être utile dans des applications dans l'optoélectroniques : réalisation d'un réseau de Bragg avec une sélectivité déterminé pour un longueur d'onde spécifiques.

**Mots clés :** optique intégrée- filtres optiques - réseau de Bragg intégré - la théorie de modes couplés- -Laser intégrée

## Abstract

Integrated –optical uniform Bragg gratings is considered as an optical filter in integrated optic. The aim of this work is to study the grating uniform Bragg parameters effect on the spectral selectivity and the application of this study to a resonant cavity of an integrated Laser. This thesis consists of two parts: the first one is a study of the propagation light theory of Bragg grating by using the coupled –mode theory, the second is a reflectivity phenomenon simulation of a Bragg grating using Fortran program. This program was validating by a comparison with published works, the results obtained are satisfactory. Our program will be utile on optoelectronics: realization of Bragg grating with a specific selectivity have specific wavelength.

**Key words:** integrated optics, filters optics, Bragg grating integrated, coupled –mode theory, integrated Laser.