



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
جامعة قاصدي مرباح ورقلة



كلية علوم المادة ورياضيات والطب

قسم الفيزياء

تخصص : فيزياء إشعاعية

عنوان المذكرة

دراسة دليل أمواج ضوئية مستعمل في  
مجال الاتصالات الضوئية

تحت إشراف الدكتور

مامانو عبد اللطيف

من إعداد الطالبتين

- حفوطة مريم
- ناويهة يمينة

لجنة المناقشة

المؤسسة	الصفة	الأستاذ
جامعة قاصدي مرباح ورقلة	المشرف	مامانو عبد اللطيف
جامعة قاصدي مرباح ورقلة	رئيس اللجنة	يوسف بن زاهي
جامعة قاصدي مرباح ورقلة	المناقش	عمر بن طويلة

السنة الجامعية : 2020/2019

## الإهداء

الحمد لله وكفى والصلاة والسلام على الحبيب المصطفى وأهله ومن وفى أما بعد الحمد لله الذي وفقنا  
لنتممين هذه الخطوة في مسيرتنا الدراسية لمذكرتنا هذه ثمرة الجهد والنجاح بفضلته تعال أهدني هذا  
العمل المتواضع إلى كل من علمني حرفاً

إلى وردة عمري

وزهرة حياتي

إلى سيدة الجنان ونبع الحنان

إلى من أفنتنا عمرها في رسم السعادة على محيانا إلى من سهرتنا على حرصنا وتعليمنا إلى من كرسنا  
حياتها في تقديس رسالة العلم أمينا الغاليتين \*طبوشة وحيدة\* \* كراش أم الخير\*

إلى شعاع حياتي إلى أبي الغالي الذي سهر على رعايتنا وتعليمنا حفظك الله ورعاك

\* حفوطة محمد خليل\* و\*ناويهة الطاهر\*

إلى أخواتنا الكريمات والكرماء وصديقاتنا الوفيات

إلى رفيق دربي الغالي\* الجودي أسامة\* وأهله

وأقدم جزيل الشكر والامتنان إلى كل من ساهموا في إعداد هذه المذكرة

إلى أستاذ المشرف\* دماماتو\* جزاه الله كل الخير

وحقق مبتغاه إن شاء الله





## شكر و عرفان

قال رسول الله صلى الله عليه وسلم:

"من لم يشكر الناس لم يشكر الله"

صدق رسول الله صلى الله عليه وسلم

الحمد لله على إحسانه و الشكر له على توفيقه و امتنانه و نشهد أن لا إله إلا الله وحده لا شريك له تعظيماً لشأنه و نشهد أن سيدنا و نبينا محمد عبده و رسوله الداعي إلى رضوانه صلى الله عليه و على آله و أصحابه و أتباعه و سلم.

بعد شكر الله سبحانه و تعالى على توفيقه لنا لإتمام هذا البحث المتواضع نتقدم بجزيل الشكر إلى الوالدين العزيزين الذين أعانونا و شجعونا على الاستمرار في مسيرة العلم و النجاح، و إكمال الدراسة الجامعية و البحث؛ كما نتوجه بالشكر الجزيل إلى من شرفنا بإشرافه على مذكرة بحثنا الأستاذ الدكتور "مامانو عبد اللطيف" الذي لن تكفي حروف هذه المذكرة لإيفائه حقه بصبره الكبير علينا ، ول توجيهاته العلمية التي لا تقدر بثمن؛ و التي ساهمت بشكل كبير في إتمام و استكمال هذا العمل؛ إلى كل أساتذة قسم الفيزياء بجامعة ورقلة كما نتوجه بخالص شكرنا و تقديرنا إلى كل من ساعدنا من قريب أو من بعيد على إنجاز و إتمام هذا العمل.

"رب أوزعني أن أشكر نعمتك التي أنعمت علي و على والدي و أن أعمل صالحاً ترضاه و أدخلني برحمتك في عبادك الصالحين"



# الملاحق

(Le polyméthacrylate de méthyle) : PMMA

(Le PMATRIFE, Poly(2,2,2 MéthAcrylate de TRIFluoro-Ethyle): PMATRIF

**Polymethylmethacrylimide : PMMI**

polyvinyl cinimate insolé: PVCi

polyvinyl cinimate : PVC

# جدول المحتويات

قائمة الصور

قائمة الجداول

مقدمة العامة

## الفصل الاول : نظرية ادلة الموجات الضوئية

- 1-I: تذكير بنظرية ادلة الموجات الضوئية.....3
- 1-1-I: مبدأ انتقال الضوء في البصريات الموجهة و البصريات المتكاملة .....3
- 2-1-I: قرينة الانكسار .....3
- 3-1-I: الانعكاس الكلي الداخلي .....5
- 4-1-I: الزاوية الحرجة .....6
- 2-I : أدلة الموجات العازلة .....8
- 1-2-I: معادلات ماكسويل .....9
- 2-2-I: معادلة الموجة .....11
- 3-2-I : انتشار الموجة.....12
- 4-2-I: مفهوم النمط ( TEM، TM ، TE ) .....14
- 3-I: تطبيقات أدلة الموجات في الاتصال .....16

## الفصل الثاني: الادلة الموجية البوليميرية

- 1-II : أدلة الموجات البوليميرية.....19
- 1-1-II: البوليميرات في صناعة الأدلة الموجية.....19
- 2-1-II: مزايا الأدلة البوليمير.....19
- 3-1-II: معايير تصميم أدلة الموجات في الاتصالات.....20
- 4-1-II: مختلف التشكيلات أدلة الموجات .....20
- 5-1-II: أنماط الانتشار في الدليل الموجي العازل .....21
- 1-2-II: الطرق التحليلية.....24
- 2-2-II: طريقة القرينة الفعالة.....26
- 3-2-II: الفقد في الادلة الموجية.....27

## الجانب التطبيقي محاكاة

28.....	مقدمة
28.....	III-1: اختيار مواد البوليمير
29.....	III-2: تحديد أبعاد الدليل الموجي
30.....	III-3: قرينة الانكسار الفعالة
30.....	III-3-1 : خطوات حساب معامل الانكسار الفعالة
31.....	III-3-1-1: الخطوة الاولى
32.....	III-3-1-2 : الخطوة الثانية
34.....	III-3-2: حساب قرينة الانكسار عن طريق المحاكاة
35.....	III-3-3: دراسة مقارنة بين حساب قرينة الانكسار الفعالة (الظاهرية) بطريقتين
35.....	III-3-4: حساب القرائن الفعالة للدليلين الموجيين (شريطي الشكل وعرفي الشكل)
37.....	III-4: تحديد القيم الحدية لدليل موجي أحادي النمط
37.....	III-4-1: طريقة تردد القطع
38.....	III-4-2: أشكال الأدلة الموجية لمختلف الأنماط
42.....	III-5: حساب الفقد الضوئي لمختلف أبعاد الدليل الموجي بقناة مغمورة باستعمال طريقة المحاكاة
43.....	III-6 : حساب معامل الاحتواء بطريقة المحاكاة

III-7 الخاتمة

ملخص

Résumé

Substrat

قائمة المراجع

# قائمة الأشكال

- الشكل I-1: كيفية انعكاس الضوء عند مروره من وسط ، يعبر رياضيا عن الزاوية القابلة لتغير اتجاه ضوء.....3
- الشكل I-2 : يمثل الشعاع الساقط والمنكسر في الوسط.....5
- الشكل I-3 : الانعكاس الداخلي الكلي.....6
- الشكل I-4 : الزاوية الحرجة.....7
- الشكل I-5 : المقطع العرضي والطولي للناقل الموجي.....8
- الشكل I-6 : مختلف الأشكال الهندسية للناقل الموجي ذو معامل عتبي ، ناقل موجي عتبي على اليسار ناقل موجي مستوية على اليمين .....9
- الشكل I-7: يوضح انتشار مجالات موجه كهرومغناطيسية.....15
- الشكل I-8 : يوضح كابل لليف بصري.....16
- الشكل I-9 : روابط الألياف البصرية.....17
- الشكل I-10: قياس التداخل Mach-Zehnder.....18
- الشكل I-11 : تعدد تكثيف الطول الموجي.....18
- الشكل II-1 : يوضح مختلف أنواع تشكيلات أدلة موجات ثلاثية الأبعاد 3D.....21
- الشكل II-2 : بنية دليل مستوي متناظر بمعامل انكسار عتبي .....21
- الشكل II-3 : التقسيم المستعمل في طريقة قرينة الانكسار الفعالة (الظاهرية) لدليل موجي ذو حواف.. 25
- الشكل II-4 : طريقة القرينة الفعالة، مرحلة حساب القرائن الفعالة في كل من المنطقتين الأولى والثانية.....25
- الشكل II-5 : الخطوة الثانية لحساب قرينة الانكسار الفعالة (والظاهرية) لدليل موجي.....26
- الشكل III-1 : بنية دليل موجي المقترح للدراسة.....30
- الشكل III-2: دليل موجي مغمور مقسم إلى بعدين أفقي وعمودي بشكل بلاطة أو لوحة.....30
- الشكل III-3 : يتم تحليل قرينة الانكسار الحقيقية للدليل الموجي المستوي الأفقي.....31
- الشكل III-4: يتم تحليل الدليل الموجي المستوي باستخدام القرينة الفعالة الموجود في تحليل الدليل الموجي الأول.....32

- الشكل III-5 : يوضح تغيرات  $n_{eff}$  بدلالة البعد  $h$  لدليل قناة المتحصل عليه بطريقة القرينة  
الفعالة.....33
- الشكل III-6 : يوضح تغيرات  $n_{eff}$  المتحصل عليها بالمحاكاة بدلالة البعد  $h$  لدليل قناة.....34
- الشكل III-7: المقارنة بين تغيرات  $n$  بدلالة  $h$  المتحصل عليها بطريقتين .....35
- الشكل III-8: مقارنة بين  $n_{eff}$  لمختلف أنواع الدلائل الموجية عن طريق المحاكاة.....36
- الشكل III-9 : الأنماط لدليل موجي بقناة مغمورة.....40
- الشكل III-10 : الأنماط لدليل موجي شريطي الشكل.....41
- الشكل III-11: الأنماط لدليل موجي عرقي الشكل .....42
- الشكل III-12: تغيرات الخسائر لدليل موجي قناة لمختلف الأبعاد بطريقة المحاكاة.....43
- الشكل III-13 : تغير معامل (أو الحجز) بدلالة بعد الدليل الموجي ، من أجل مختلف الأنواع .....44



## قائمة الجداول:

- الجدول 1 - II : يوضح حلول معادله (2 - II) ..... 22
- الجدول 2 - II : يوضح علاقات الاستمرارية للحقل E من أجل دليل موجي مستوي متناظر..... 23
- الجدول III-1 : بعض البوليمرات المستخدمة في إنتاج أدلة الموجة..... 29
- الجدول III - 2 : يوضح القرائن لدليل قناة لمختلف الأبعاد بمنهجية المحاكاة..... 34
- الجدول III-3 : القرينة الفعالة لدليل موجي شريطي الشكل و عرقي الشكل لمختلف الأبعاد ..... 36
- الجدول III - 4 : يبين أحادية الدليل لدليل موجي بشكل قناة مغمورة ..... 38
- الجدول III-5 : يوضح الحجم الأعظمي للقلب من أجل تحقيق أحادية الدليل لمختلف أشكال وبنيات الدليل. .... 39

# مقدمة

أدلة الموجات هي أنظمة تستخدم لتوجيه الموجات الكهرومغناطيسية أو الموجات الصوتية حيث نجد تطبيقاتها في العديد من المجالات على غرار مجال الاتصالات السلكية واللاسلكية مثل الفيزياء والبصريات والمطيافية والطب والقياسات وحتى المجال العسكري .

تنقسم أدلة الموجات من حيث طبيعتها إلى فئتين أدلة الموجات المعدنية وأدلة الموجات العازلة فعلى سبيل المثال يمكن استخدام الفئة الأولى في نقل موجات الترددات العالية في حين يمكن أن تستخدم الفئة الثانية في مجال هندسة الاتصالات الضوئية لنقل الموجات الضوئية في نطاق الأطوال الموجية الواقعة في مجال الأشعة تحت الحمراء القريبة أو المرئية على غرار استخدام الألياف البصرية في نقل الليزر.

منذ اختراع الليزر في ستينيات القرن الماضي عكف العلماء على محاولة إيجاد تطبيقات لهذا الضوء ذو الخصائص المتميزة في العديد من المجالات مثل الطب ،هندسة القياسات ، المجال العسكري وخصوصا مجال الاتصالات، لكن هذا لم يكن ممكنا في ظل عدم وجود حلول تكنولوجية تضمن نقل فعال لهذا الضوء من دون توهين (ضياع في الطاقة ) ولا تشتت، إذ باءت محاولات إجراء الاتصالات بواسطة الليزر بإرسالها مباشرة في الفراغ بالفشل نظرا لغياب مصادر ليزرية قوية من جهة ولتغير قرينة انكسار الهواء بسبب الأحوال الجوية و وجود المعوقات الطبيعية من جهة أخرى ، كان يجب الانتظار إلي غاية سبعينيات القرن الماضي لتجسيد فكرة الاتصالات الضوئية حين تمكن العلماء من التحكم في تكنولوجيا أنصاف النواقل مما مكنهم من تصنيع منبع ليزري يمكنه إرسال أشعة ليزرية قوية ومستقرة و بالتوازي مع ذلك تم تصنيع ألياف بصرية من مادة السيلكا بفقد عشرين ديسيبل لكل كيلومتر ، وفي غضون عشرة سنوات ، تم تقليل معدل الفقد في الألياف البصرية المصنعة إلي 0.20 ديسيبل في الكيلومتر، مما أعطي دفعا قويا لأنظمة الاتصال الضوئية بتوفير ليزر قوي وأدلة موجية ذات فقد مقبول

في الحقيقة ، هناك العديد من المواد المتنوعة المستخدمة في صنع الأدلة الموجية مثل أنصاف النواقل والزجاج. لكن في الآونة الأخيرة أصبح هناك توجه جديد نحو استخدام المواد البوليميرية في تصميم أدلة الموجات خصوصا تلك المستعملة في الدارات الضوئية المدمجة وذلك نظرا لعدة أسباب أهمها خصائصها الفيزيائية المثيرة للاهتمام: كالقدرة على تغير قرينة الانكسار، الفقد الضوئي المنخفض وسهولة التكامل مع تكنولوجيا مكونات أنصاف النواقل الأخرى، بالإضافة لانخفاض تكلفتها من الناحية الاقتصادية.

فمواكبة لهذا التوجه الجديد في استخدام المواد البوليميرية في تصنيع الأدلة الموجية ،ارتأينا تحضير مذكرتنا في هذا الإطار إذ نسعى لدراسة تشكيلات مختلفة لأدلة موجات مصممة من البوليمر حيث قمنا بالاستعانة بأساليب المحاكاة العددية وأساليب أخرى تحليلية، وذلك من أجل تصميم الشكل الأمثل الذي

يسمح لنا بالحصول على دليل موجي أحادي النمط يتميز بفقد منخفض في مجال الطول الموجي المستخدم في الاتصالات الضوئية (1.55 ميكرومتر) .

للقيام بذلك، قمنا بتقسيم دراستنا إلى ثلاث فصول :

❖ في الفصل الأول : سوف نستعرض ما يتعلق بأدلة الموجات من الجانب النظري وكذلك المعادلات التي تسمح بوصف ظواهر انتشار الموجات الكهرومغناطيسية داخل وسط عازل على غرار المواد المستخدمة في دراستنا هي البوليميرات .

❖ في الفصل الثاني سنعرض كل ما يتعلق ب أدلة الموجات البوليميرية بما في ذلك من مزاياها ومعايير ت صميمها .....الخ

❖ في الفصل الثالث: نطبق أساليب المحاكاة العددية وأخرى تحليلية لنتمكن من تحديد أبعادا لمثلئ لتشكيل دليل أحادي النمط يتميز بفقد ضوئي ضئيل مقبول في مجال الاتصالات وسيجري التعليق على النتائج التي تم الحصول عليها وتحليلها في الفصل نفسه.

وأخير سنختتم دراستنا باستنتاج عام يلخص العمل الذي تم إنجازه.

## الفصل I :

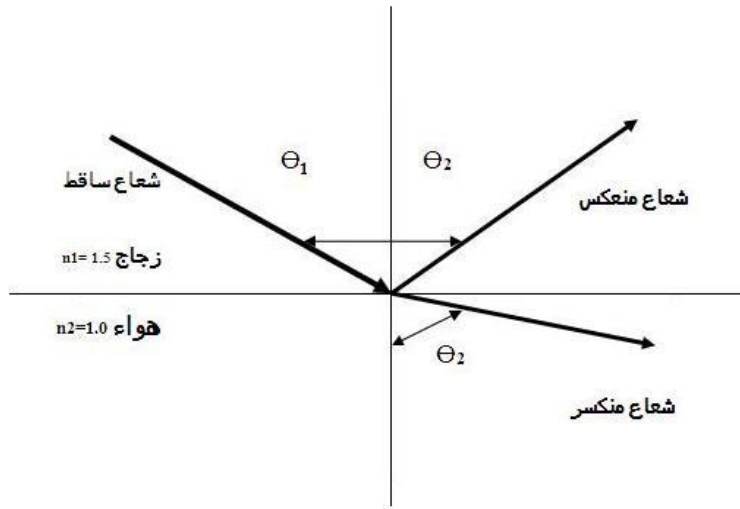
نظرية ادلة الموجات الضوئية

1-I تذكير بنظرية أدلة الموجات

1-1-I مبدأ انتقال الضوء في البصريات الموجهة و البصريات المتكاملة:

عند ما ينتقل الضوء خلال مادة شفافة ويصطدم بمادة شفافة أخرى سيحدث ما يلي :

- سينعكس بعض الضوء.
- سيمر بعض الضوء الآخر في الوسط الشفاف الآخر .



الشكل ( 1-I ) كيفية انعكاس الضوء عند مروره من وسط، يعبر رياضيا عن الزاوية القابلة لتغير اتجاه ضوء.

بشكل عام يتم انتشار أي ظاهرة في نظام معين على طول اتجاهات معينة من خلال توفير الشروط الخاصة

بهذا النظام [2].

يغير الشعاع الوارد اتجاهه عند دخول مادة أخرى و يسمى هذا الانحناء بالانكسار ، و هو يعتمد على مبدأ

أن الضوء المرئح من مادة معينة يغير سرعته إذا ما دخل مادة أخرى،

و نتيجة لذلك فأن لكل مادة معامل انكسار بها يستعمل لحساب مقدار الانحناء الحاصل للضوء .



I-1-2 قرينة الانكسار :

ويرمز لها ب: (n) و هي النسبة بين سرعة انتشار الضوء في الفراغ و سرعة انتشاره في المادة.

$$n = c/v$$

C: سرعة انتشار الضوء في الفراغ.

v: سرعة انتشار الضوء في المادة.

n: قرينة الانكسار.

مختلف قرائن الانكسار لمواد مختلفة، بين الزجاج قليل التشتيت و الزجاج السلس العالي التشتيت و الزجاج النقي .

جدول معاملات الانكسار لأنواع مختلفة من الزجاج :

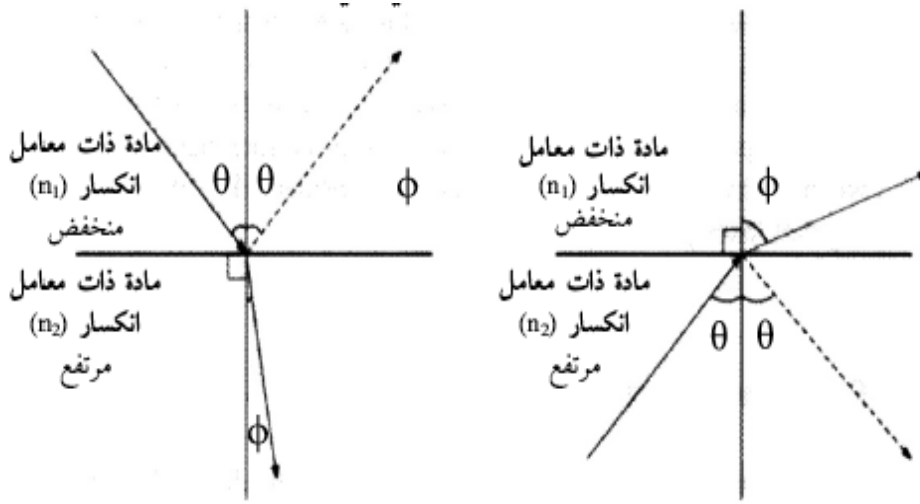
المادة	قرينة الانكسار	المادة	قرينة الانكسار
الفراغ	1,000	زجاج سلس كثيف	1,66
الزجاج	1,51714	زجاج سلس ثقيل جدا	1,89
زجاج الاباليت	1,489	زجاج سلس ثقيل	1,65548
زجاج قليل التشتيت	1,52	زجاج سلس لثنانيوم	1,8
زجاج قليل التشتيت , الزنك	1,517	زجاج سلس خفيف	1,5803
/	/	زجاج سلس وسيط	1,62725

تؤثر قرينة الانكسار لوسط معين على الضوء اعتمادا على :

- انتقال الضوء من وسط ذو معامل انكسار منخفض إلي وسط ذو معامل انكسار أعلى.
- انتقال الضوء من وسط ذو معامل انكسار أعلى إلي وسط ذو معامل انكسار منخفض .

يعتمد توجيه الضوء في لدليل الموجي على مبدأ الانكسار الكلي الذي يتم الحصول عليه بواسطة علاقة ديكرارت (يقع الشعاع الوارد والشعاع المنكسر في نفس الوسط).

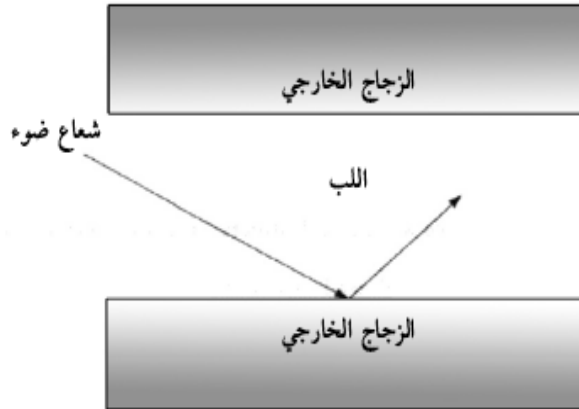
و تتجلى الحالتان بالشكل البياني التالي :



الشكل (2-I) يمثل الشعاع الساقط والمنكسر في الوسط

### I-1-3 الانعكاس الداخلي الكلي :

يحدث انعكاس داخلي كلي عندما يلامس الضوء المنتقل من مادة إلى مادة أخرى، فينعكس نحو المادة الأصلية (التي أتى منها). مثال على ذلك، أنبوب زجاجي مكون من لب و أطراف خارجية ، تتألف من أنواع مختلفة من المركبات الزجاجية ، الضوء الذي يدخل إلى اللب يبقى محصورا ضمن حدود اللب (لأنه لا ينكسر داخل اللب)، طالما لم تتجاوز الزاوية التي وردبها مقدار محدد يدعى بالزاوية الحرجة .



الشكل (3-I) الانعكاس الداخلي الكلي

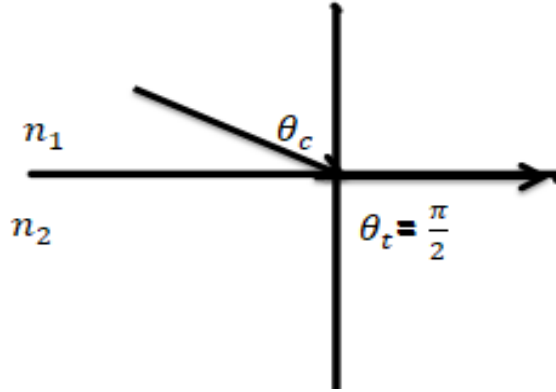
يجب توفر شرطان لحدوث انعكاس داخلي كلي :

- ✓ يجب أن يكون معامل الانكسار الوسط الأول أعلى منه في الوسط الثاني .
- ✓ يجب أن تكون زاوية الورود اصغر من ( أو تساوي) الزاوية الحرجة.

#### I-1-4 الزاوية الحرجة :

يمكن تعريف الزاوية الحرجة بأنها زاوية الورود ينتج عنها انكسار للضوء بزاوية قائمة ( $90^\circ$ ) .

عندما يحدث انكسار بزاوية  $90^\circ$  فإن جزء فقط من الشعاع المنكسر المتبقي ينعكس على طول الحدود بين الوسطين ، في حين ينعكس معظم الضوء الى الداخل، إن زاوية الورود المقابلة لزاوية انكسار  $90^\circ$  تسمى بالزاوية الحرجة وعندما تكون زاوية الورود أصغر من الزاوية الحرجة ينعكس حينها الشعاع بشكل كلي .



الشكل (4-I) الزاوية الحرجة

يمكن تحديد الزاوية الحرجة باستخدام قانون سنل ديكرارت كما هو موضح في شكل (1-I)

$$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_r \Rightarrow \frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_r} = \frac{n_1}{n_2} (I - 1)$$

حيث

- ✓  $n_1$  : قرينة الانكسار للوسط الاول
- ✓  $n_2$  : قرينة الانكسار للوسط الاول
- ✓  $\theta_i$  : زاوية (الورود)
- ✓  $\theta_r$  : زاوية الانكسار

من اجل زاوية انكسار  $\theta_r = 90^\circ = \frac{\pi}{2}$  فإننا نعوض  $\sin \theta_r = 1$  في علاقة سنل ديكرارت (I - 1)

ومن ثم يمكننا تحديد قيمة زاوية (الورود) الحدية التي نرمز لها ب:  $\theta_{ic}$

بواسطة العلاقة التالية :

$$\sin \theta_{ic} = \frac{n_2}{n_1} \Rightarrow \theta_{ic} = \text{Arcsin} \left( \frac{n_2}{n_1} \right) \quad (I - 2)$$

لان جيب أي زاوية لا يمكن أن يكون اكبر من 1 فإن  $\sin \theta_{ic} \leq 1$  او  $\frac{n_2}{n_1} < 1$  و بالتالي يجب ان تكون  $n_2$  اقل من  $n_1$ .

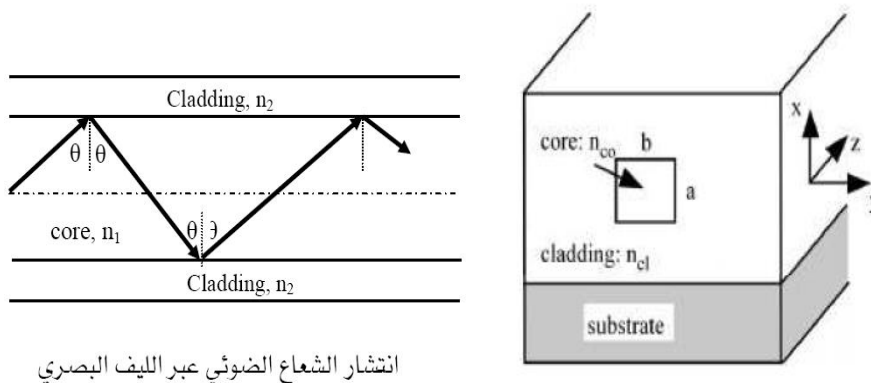
إذن الانعكاس الداخلي الكلي يتحقق من اجل كل زاوية ورود:

$$\theta_i \leq \theta_{ic} = \text{Arcsin} \left( \frac{n_2}{n_1} \right)$$

يعتبر الانعكاس الداخلي الكلي هو المبدأ الذي يرتكز عليه استخدام أدلة الموجية العازلة ، و هذا بتغليف مادة مركزية بمادة أخرى ذات معامل انكسار اقل ، عندها يمكن حصر الضوء في المادة المركزية ، مثال ذلك الألياف البصرية.

## 2-I أدلة الموجات العازلة :

هي عبارة على بنية مكون من ثلاثة أوساط أو طبقات ذات قرائن انكسار مختلفة والتي تسمح بحصر و انتشار الضوء داخل الوسط المركزي في اتجاه محدد ، ويسمى هذا الأخير بالطبقة الموجهة أو القلب (او اللب) أما الطبقات المحيطة به فتسمى التصفيح ( أو الغمد) .

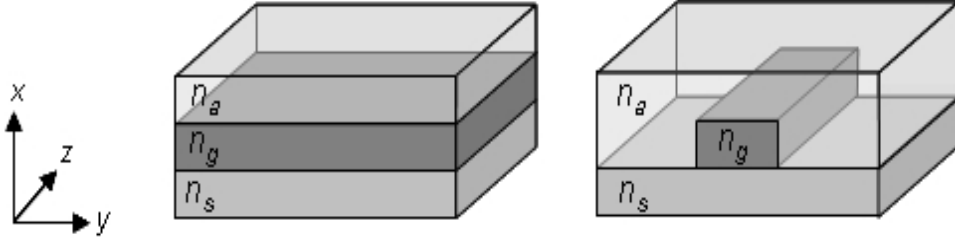


انتشار الشعاع الضوئي عبر اللب البصري

شكل (5-I) المقطع العرضي والطولي لدليل الموجي.

اعتماد شكل على بنية ( القلب ) يمكن نميز بين دليل الموجة المستوي أو دليل الموجة بشكل قناة

شكل (6-I) بالإضافة إلى ذلك يقال أن بنية القناة مغمورة إذا كان القلب مغطى بمادة أخرى، من جهة أخرى يمكن تصنيف الأدلة الموجية إلى دليل موجي ذو معامل انكسار متدرج ودليل الموجي ذو معامل انكسار عتبي، اعتماد على ما إذا كانت السطوح البينية بين القلب والطبقات المحيطة بها ناشر أم لا . هناك تصنيف آخر يعتمد على عدد الأنماط التي ينقلها الدليل الموجي .



شكل (6-I) مختلف الأشكال الهندسية لدليل الموجي ذو معامل عتبي، دليل موجي عتبي على اليسار، دليل موجي مستوية على اليمين.

دراسة انتشار الضوء في دليل موجي يتطلب البحث عن معادلات ماكسويل التي تفي بشروط الحدية للمسألة [3,4] .

I-2-1 معادلات ماكسويل :

يتم كتابة معادلات ماكسويل على أساس مشتقات جزئية المقرونة بمتغيرات الزمان والمكان للحقول  $\vec{E}$  و  $\vec{H}$  وكثافة التيار  $\vec{j}$ ، كثافة الشحنة  $\rho$  . وهي المعادلات الأساسية الأربعة للكهرومغناطيسية التي يتم تطبيقها حينما يكون توزيع التيار مستمر. حيث تستند نظرية الأدلة على هذه المعادلات [5].

$$\vec{\nabla} \wedge \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (I-3)$$

$$\vec{\nabla} \wedge \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (I-4)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad (I-5)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = \rho \quad (I-6)$$

لدينا:

$\vec{E}$  : حقل الكهربائي (V/m).



$\vec{B}$  : الحث المغناطيسي (Wb/m<sup>2</sup>).

$\vec{D}$  : متجه الإزاحة الكهربائية (C/m<sup>2</sup>).

$\vec{H}$  : الحقل ( الإثارة ) المغناطيسية (A/m).

$\vec{j}$  : كثافة التيار اللحظية (A/m<sup>2</sup>).

$\rho$ : الكثافة الحجمية لشحنة الكهربائية الحرة (C/m<sup>3</sup>).

هي دساتير المعادلات التي تسمح بتحديد متجهات  $\vec{D}$ ،  $\vec{B}$  و  $\vec{j}$  دالة متجاهات  $\vec{E}$  و  $\vec{H}$ .

$$\vec{D} = [\epsilon]\vec{E} = [\mu]\vec{H} = [\sigma]\vec{E} \quad (I - 7)$$

حيث:

$$\mu = \mu_0 \mu_r = \mu_0 \text{ : النفاذية المغناطيسية.}$$

$\sigma$ : الناقلية الكهربائية

$$\epsilon_0 = \frac{1}{36\pi \times 10^9} \text{ F/m : مساحية الكهربائية في الفراغ .}$$

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m : مساحية المغناطيسية في الفراغ.}$$

$$\epsilon_r = \epsilon / \epsilon_0 = n^2 \text{ : سماحية النسبية .}$$

$$\mu_r = 1 \text{ : النفاذية النسبية .}$$

يخضع المجالان  $\vec{E}$  و  $\vec{H}$  اثناء الانتشار في الوسط الى معادلات ماكسويل ،من اجل انتشار معين للضوء تعطي حلول خاصة للمعادلات المتحصل عليها عند المرور بين الوسطين ( على وجه الخصوص ،استمرارية واجهة بين الوسطين 1 و2) ،باستخدام متجه الوحدة الناظمي  $\vec{s}$  عند السطح البيني بين الوسائط 1 و 2 ، فإن هذه الشروط العامة هي:

استمرارية المركبة لتيار الإزاحة الكهربائية :

$$(\vec{s}) \cdot (\vec{D}_2 - \vec{D}_1) = 0 \quad (I - 8)$$

استمرارية المركبة العرضية للمجال الكهربائي :

$$(\vec{s}) \wedge (\vec{E}_2 - \vec{E}_1) = 0 \quad (I - 9)$$

استمرارية المركبة الناظمية للتدفق المغناطيسي:

$$(\vec{s}) \cdot (\vec{B}_2 - \vec{B}_1) = 0 \quad (I - 10)$$

استمرارية المركبة المماسية للمجال المغناطيسي :

$$(\vec{s}) \wedge (\vec{H}_2 - \vec{H}_1) = 0 \quad (I - 11)$$

### I-2-2 معادلة الموجة :

انطلاقاً من معادلات ماكسويل ، سنقوم بتطوير الدراسة لنظام آخر يسمى معادلة الموجة ، وهذا لأنها أسهل بكثير من نظام المعادلات المزدوجة . وأساس الاهتمام بمعادلات الموجة يكمن في أنها منفصلة ( أي تتضمن سوى حقل واحد  $\vec{E}$  أو  $\vec{H}$  ) .

للحصول على هذه المعادلات ، دعنا أولاً نأخذ دوران المعادلة (I - 3) وخواص الوسط العازل المتجانسة والتمثالة وبدون فقدان الشحنات  $n_i$  وكذا غير مغناطيسي.

$$\vec{D} = \epsilon_0 n^2 \vec{E} \quad (I - 13), \vec{j} = 0 \quad \text{و} \quad (\text{i.e. } \vec{B} = \mu_0 \vec{H} \quad (I - 12)$$

$\mu_0$ : النفاذية في الفراغ .

$\epsilon_0$ : سماحية الفراغ .

$n$ : قرينة الانكسار .

$$\vec{\nabla} \wedge \vec{\nabla} \wedge \vec{E} = -\mu_0 \frac{\partial \vec{\nabla} \wedge \vec{H}}{\partial t} \quad (I - 14)$$

انطلاقاً من (I - 4) و (I - 13) نستنتج :

$$\vec{\nabla} \wedge \vec{\nabla} \wedge \vec{A} = -\vec{\nabla}^2 + \vec{\nabla}(\vec{\nabla} \cdot \vec{A}) \quad (I - 15)$$

نحصل على :

$$\vec{\nabla}^2 \vec{E} - \mu_0 \epsilon_0 n^2 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = \vec{\nabla}(\vec{\nabla} \cdot \vec{E}) \quad (I - 16)$$

نضع  $\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = 0$  نحصل على :

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = \epsilon_0 n^2 \vec{\nabla} \cdot \vec{E} + \epsilon_0 \vec{E} \cdot \vec{\nabla} n^2 = 0 \quad (I - 17)$$

بالتعويض (I - 17) في (I - 16) نحصل على المعادلة العامة للموجة التالية

$$\vec{\nabla}^2 \vec{E} - \mu_0 \epsilon_0 n^2 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = -\vec{\nabla} \left( \vec{E} \cdot \frac{\vec{\nabla} n^2}{n^2} \right) \quad (I - 18)$$

بالنسبة لوسط متجانس فان القرينة  $n$  لا تتغير . أي أن  $\vec{\nabla} n = 0$  وبالتالي :

$$\vec{\nabla}^2 \vec{E} - \mu_0 \epsilon_0 n^2 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0 \quad (I - 19)$$

بنفس الطريقة السابقة نحصل على :

$$\vec{\nabla}^2 \vec{H} - \mu_0 \epsilon_0 n^2 \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2} = 0 \quad (I - 20)$$

لحساب الحقل الكهرومغناطيسي نلجأ إلى حل معادلات الأمواج تحت شروط حدية معينة .

I-2-3 انتشار الموجة :

نبحث عن حلول الانتشار حول المحور  $z$  للمجالات ، (الممثلة بالصيغ) التالية  $e^{j(\omega t - \beta z)}$  او :

$$\vec{E}_{(x,y,z,t)} = \vec{E}_{(x,y)} e^{j(\omega t - \beta z)} \quad (I - 21)$$

$$\vec{H}_{(x,y,z,t)} = \vec{H}_{(x,y)} e^{j(\omega t - \beta z)} \quad (I - 22)$$

من معادلات ماكسويل :

$$\vec{\nabla} \wedge \vec{E} = -j\omega \mu \vec{H} \quad (I - 23)$$

و:

$$\vec{\nabla} \wedge \vec{H} = j\omega \epsilon \vec{E} \quad (I - 24)$$

وعلية ينتج :

$$\frac{\partial E_z}{\partial y} + j\beta E_y = -j\omega H_x \quad (I - 25)$$

$$-j\beta E_x - \frac{\partial E_z}{\partial x} = -j\omega H_y \quad (I - 26)$$

$$\frac{\partial E_y}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial y} = -j\omega H_z \quad (I - 27)$$

$$\frac{\partial H_z}{\partial y} + j\beta H_y = -j\omega E_x \quad (I - 28)$$

$$-j\beta H_x - \frac{\partial H_z}{\partial x} = -j\omega E_y \quad (I - 29)$$

$$\frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y} = -j\omega E_z \quad (I - 30)$$

يمكن الحصول على التعبيرات ل:

$$E_x = \frac{-1}{k^2 - \beta^2} \left( j\beta \frac{\partial E_z}{\partial x} + j\omega\mu \frac{\partial H_z}{\partial y} \right) \quad (I - 31)$$

$$E_y = \frac{1}{k^2 - \beta^2} \left( -j\beta \frac{\partial E_z}{\partial y} + j\omega\mu \frac{\partial H_z}{\partial x} \right) \quad (I - 32)$$

$$H_x = \frac{1}{k^2 - \beta^2} \left( j\omega\varepsilon \frac{\partial E_z}{\partial y} + j\beta \frac{\partial H_z}{\partial x} \right) \quad (I - 33)$$

$$H_y = \frac{-1}{k^2 - \beta^2} \left( j\omega\varepsilon \frac{\partial E_z}{\partial x} + j\beta \frac{\partial H_z}{\partial y} \right) \quad (I - 34)$$

حيث  $k = \omega\sqrt{\mu\varepsilon}$  هو ثابت الانتشار الحر في الوسط و  $\beta$  ثابت الانتشار في الوسط.

$$\vec{\nabla}^2 \vec{E} + k^2 \vec{E} = 0 \quad (I - 35)$$

و

$$\vec{\nabla}^2 \vec{H} + k^2 \vec{H} = 0 \quad (I - 36)$$

ونتبع هذا :

$$\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E}{\partial y^2} = -(k^2 - \beta^2)E = -(k_0^2 n_i^2 - \beta^2)E \quad (I - 37)$$

و

$$\frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial y^2} = -(k^2 - \beta^2)H = -(k_0^2 n_i^2 - \beta^2)H \quad (I - 38)$$

I-2-4 مفهوم النمط (TEM، TM،TE) :

هناك نوعان من الحلول الممكنة لمجموعة من المعادلات في دليل الموجة العازل ذو مجال كهربائي عرضي

(موجات TE) وموجات ذات مجال مغناطيسي عرضي (موجات TM). ونظرا لعدم وجود اختلاف في قرينة الانكسار  $n$ ، فإن كل مشتقات الجزئية تكون مساوية لصفر. حيث المعادلات (I - 25) إلى (I - 30)، تصبح قابلة للفصل الى مجموعتين من ثلاثة معادلات.

يحتوي المجال الكهربائي للموجات TE على مكون واحد غير معدوم، وهو  $E_y$ . ويحتوي المجال المغناطيسي على مكونين غير معدومين هما  $H_x$  و  $H_z$ .

المعادلات (I - 25)، (I - 27) و (I - 29) تكتب كالتالي :

$$j\beta E_y = -j\omega\mu H_x \quad (I - 39)$$

$$\frac{\partial E_y}{\partial x} = -j\omega\mu H_z \quad (I - 40)$$

$$-j\beta H_x - \frac{\partial H_z}{\partial x} = j\omega\epsilon E_y \quad (I - 41)$$

حيث تصبح المعادلة (I - 37) كمايلي :

$$\frac{\partial^2 E_y}{\partial x^2} + (k^2 - \beta^2)E_y = 0 \quad (I - 42)$$

يحتوي المجال المغناطيسي للموجات TM على مكون واحد غير معدوم، وهو  $H_y$ . ويحتوي المجال الكهربائي على مكونين غير معدومين هما  $E_x$  و  $E_z$ . والمعادلات (I - 26)، (I - 28) و (I - 30) تصبح:

$$-j\beta E_x - \frac{\partial E_z}{\partial x} = -j\omega\mu H_y \quad (I - 43)$$



$$j\beta H_y = j\omega \varepsilon E_x \quad (I - 44)$$

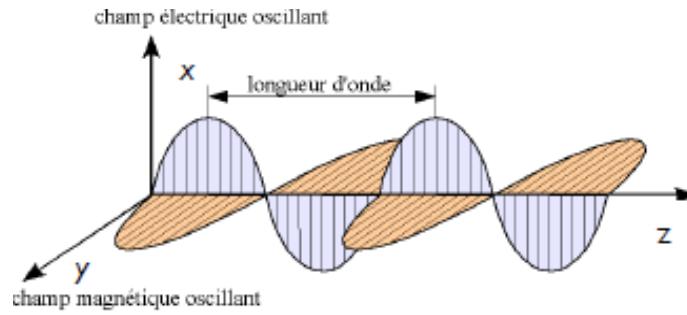
$$\frac{\partial H_y}{\partial x} = j\omega \varepsilon E_z \quad (I - 45)$$

حيث تصبح المعادلة (I - 38) كالتالي :

$$\frac{\partial^2 H_y}{\partial x^2} + (k^2 - \beta^2)H_y = 0 \quad (I - 46)$$

بمجرد حقن موجة TEM في دليل وتحت شروط الانعكاس الكلي الداخلي ، فإنها تنتشر في مستوى يحتوي على شعاع ساقط عمودي على الواجهات ، مستوي السقوط ومستوي الانتشار.

شرط انتشار الموجه TEM باتجاه المحور oz حيث:  $\vec{H} // oy$  و  $\vec{E} // ox$ .



شكل (I- 7) يوضح انتشار مجالات موجه كهرومغناطيسية.

ومعادلات ماكسويل كالتالي :

$$\vec{\nabla} \wedge \vec{E} = \left( 0, \frac{\partial E_x}{\partial z}, \frac{\partial E_x}{\partial y} \right) = -\mu_0 \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} = -\mu_0 \left( 0, \frac{\partial H_y}{\partial t}, 0 \right) \quad (I - 47)$$

$$\vec{\nabla} \wedge \vec{H} = \left( \frac{\partial H_y}{\partial z}, 0, \frac{\partial H_y}{\partial x} \right) = \varepsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} = \varepsilon \left( \frac{\partial E_x}{\partial t}, 0, 0 \right) \quad (I - 48)$$

### 3-I تطبيقات أدلة الموجات في الاتصال :

#### ○ مزايا أدلة الموجات الضوئية

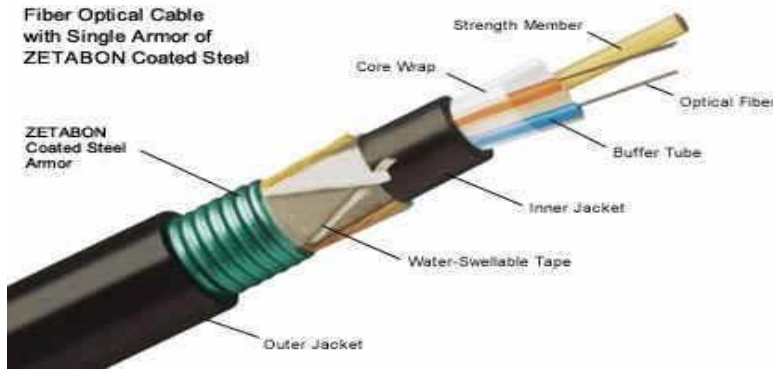
في الواقع، تستخدم أدلة الموجات في عدة مجالات منها مجال الاتصال [6] وذلك لعدة أسباب منها:

- التوهين منخفض ( 0.1 dB/ km ) .
- الوزن منخفض وصغر الحجم .
- عرض النطاق واسع يفوق (25 THz) .
- أمان كهربائياً: عزل بين المحطات، يستخدم في بيئة المتفجرات وغير حساس .
- الحصانة
- اقتصادي : اقل تكلفة من النظام المصنوع من النحاس، فعال ومتطور في عمليات التوصيل .
- 

#### ○ بعض التطبيقات في مجال الاتصال :

#### ❖ الألياف البصرية :

هي أدلة موجية لها شكل دائري تستخدم بكثرة في نقل الإشارة الضوئية والربط على مسافات طويلة [7].

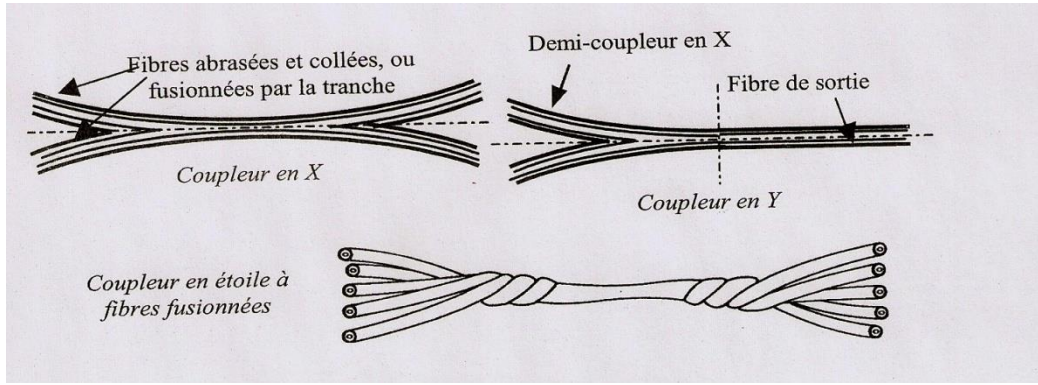


شكل (I- 8) يوضح كابل للليف بصري .

#### ❖ روابط البصرية :

هي مكونات غير نشطة تعتمد على الأدلة الموجية ، والتي تقوم بالمشاركة والتجميع ، وثبات الإشارة الضوئية بمرور الوقت ، في الوضع الأول أو الفاصل يتم إرسال نفس الإشارة في وقت واحد على عدة مخارج القنوات . هناك عدة أنواع من روابط :

روابط على شكل X ( 2 مداخل و 2 مخارج ) ، وأخرى على شكل Y ( تحتوي على 2 مداخل ومخرج واحد ) ، ويتم إنتاج هذه المكونات بشكل عام في تقنيات التجميع عن طريق الألياف الضوئية أو عن طريق الإدماج / التمدد . [8]



شكل (9-I) روابط الألياف البصرية.

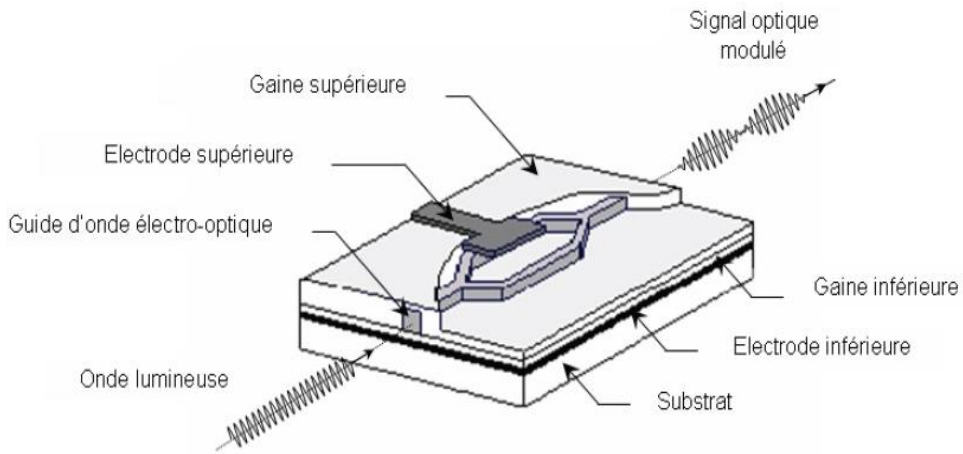
❖ مضمّن الكهروضوئي :

يقاس التداخل بشكل خاص في البصريّات المتكاملة . والتداخل أكثر كلاسيكيا تداخل Mach-Zehnder

شكل (10-I) ، يحتوي على قطبين ، و موضع يكون على كلا الذراعين . وهو مكون ذو أداء عالي ولكن من صعب تحقيقه [8].

❖ مضمّن السعة من نوع Mach-Zehnder:

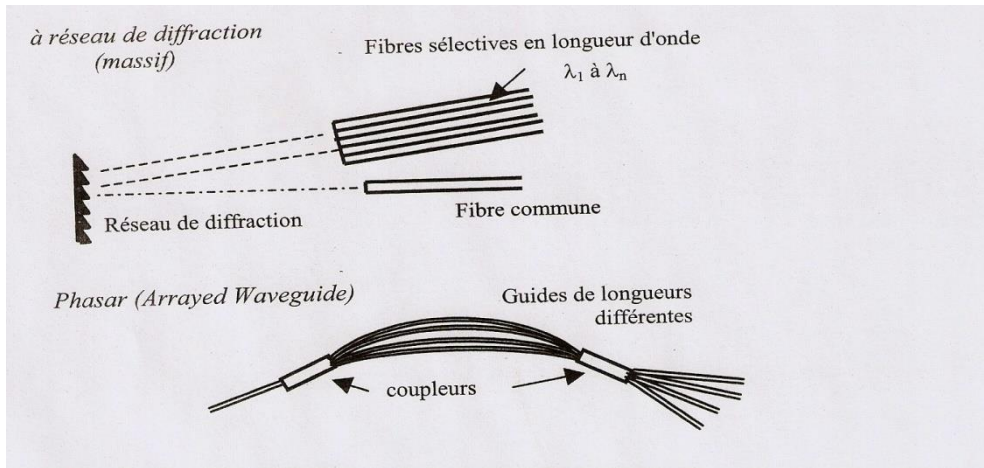
في معدل السعة من نوع Mach-Zehnder ، تتكون الطبقة التوجيهية من مادة غير خطية يتم توجيه chromophores إليها ، حيث تنتشر الموجه الضوئية في ذراعي المبدل و في حالة تطبيق جهد كهربائي على مستوى القطب ، يؤدي ذلك إلى تعديل معامل الانكسار لذراع المبدل المعرض للمجال الكهربائي . وإذا كان الجهد المطبق مساويا للجهد اللازم لتعديل طور الموجة  $\pi$  ، وعندما تلتقي الموجتان عند مستوى الجزء المشترك ، فسوف تتداخلان بطريقة هدامة . فنحصل على حد ادني لشدة الضوء فيمخر المبدل . يؤخذ هذا الجهد عموما كمرجع لوصف نوع المبدل ويسمى:  $V\pi$  .



شكل (10-I) قياس التداخل Mach-Zehnder .

❖ مجمع قنوات :

يعتمد مبدأ تعدد الإرسال بانتشار عدة إشارات ضوئية في نفس الليف. وقبل حقن كل هذه الإشارات في أدلة الموجات البوليميرية ، فإنها تمر بمجمع قنواتم تنتشر بشكل مختلط .



شكل (11-I) تعدد تكثيف الطول الموجي .

الفصل II :

أدلة الموجات البوليميرية



## II-1 الأدلة الموجية البوليميرية:

### II-1-1 البوليميرات في صناعة الأدلة الموجية :

في السنوات الأخيرة ركزت الأبحاث والدراسات بشكل متزايد على تصميم أدلة موجية ذات فقد منخفض، والتي تتميز بمعامل انكسار عالي ومرتفع [10,11] وهذا لسهولة وسرعة صنعها ولزيادة معدل الطلب والحاجة إليها في توفير أنظمة بث ضوئي ذات تدفق عالي لقد أصبح ممكنا تصميم العديد من المركبات المستعملة في شبكة الألياف البصرية من البوليميرات مثل البلورات الضوئية البوليميرية و أدلة الموجة ذات خسائر منخفضة وزوايا الانعكاس 90 درجة [12]. وهذا نظرا ، لما تتمتع به هاته المواد من خصائص بصرية وميكانيكية ،حيث أصبحت من الأفضل في صنع أنظمة ضوئية بما في ذلك أدلة الموجات.

### II-1-2 مزايا أدلة البوليمير:

بالمقارنة مع المواد الأخرى، فإن البوليميرات تتميز ب :

- ❖ يمكن تغيير في خصائص البوليميرات على نطاق واسع عن طريق التعديل الكيميائي في بنية monomère أو المجموعات أو chromophores الوظيفية. [13]
- ❖ يمكن معالجة المواد البوليميرية بسهولة من خلال العديد من تقنيات التصنيع التقليدية وغير التقليدية مثل: النقش الجاف ، النقش الرطب والطباعة الحجرية اللينة. [14]
- ❖ كما توفر مواد البوليمير الوظيفي منصة ممتازة لدمج العديد من الوظائف مختلفة من بينها تطعيم البوليمر مع جزيئات مختلفة، كما تستخدم لتصميم الدوائر البصرية المتكاملة من بما في ذلك المصادر والمعالجات وأجهزة الكشف [15، 16].
- ❖ بالمقارنة مع الألياف الزجاجية الهشة وأشباه الموصلات عالية التكلفة، تعتبر مواد البوليمر سهلة الصنع، وغير مكلفة. وبالإضافة إلى ذلك، يمكن استخدامها لإنتاج نماذج السريعة لتقييم المفاهيم والأجهزة الجديدة بتكلفة منخفضة وفي فترة زمنية قصيرة جدا.
- ❖ تتميز البوليميرات أيضا بخصائص ميكانيكية مثيرة للاهتمام - بعد المعالجة - فهي مرنة وبالتالي يمكن ثنيها وإقرانها بأسطح غير مستوية [17]. بالإضافة إلى ذلك ، يمكن دمجها بسهولة في هياكل مختلفة [18].
- ❖ خسائر بصرية منخفضة في نوافذ الاتصالات .
- ❖ تستخدم في التصنيع السريع التي توفر إنتاجًا ضخمًا منخفض التكلفة بما في ذلك تصميم أدلة.

## II - 1-3 معايير تصميم أدلة للموجات في الاتصالات:

تعود دراسات النظم البصرية المتكاملة البوليميرية إلى أكثر من عقدين [19,20]. إن تصميم الدوائر البصرية من مواد بوليميرية يشترط أن تكون فيه القدرة على إنشاء وتشكيل أدلة موجات أحادية النمط. إن تقييم أو تحديد فقد الضوئي الناتجة عن الانتشار في أدلة الموجات بدقة مهمة صعبة جدا و الطريقة الأكثر شيوعاً لوصف هذه الأخيرة هو قياس الطاقة المنبعثة بعد الانتشار في أدلة موجية متطابقة بأطوال مختلفة. وبدلاً من ذلك، يمكن استخدام دليل موجي بسيط عن طريق قطعه بالتتابع إلى أطوال أقصر وقياس انتقالها. لاحظ أن هناك أدلة موجية البوليمير تتميز بخسائر منخفضة جداً كما يقدر انتشارها ب  $0.1\text{dB/cm}$  [21,22].

## II - 1-4 مختلف التشكيلات الأدلة الموجات :

إن تصميم دليل موجي ثلاثي الأبعاد ، يسمح بحصر الضوء على طول محور OX وعلى طول محور Oy، ومن بين الأشكال المختلفة التي يمكننا تمييزها :

✓ دليل الحواف الشكل (a-1-II).

✓ الدليل محمل بحافة الشكل (b-1-II).

✓ دليل الشريط الشكل (c-1-II).

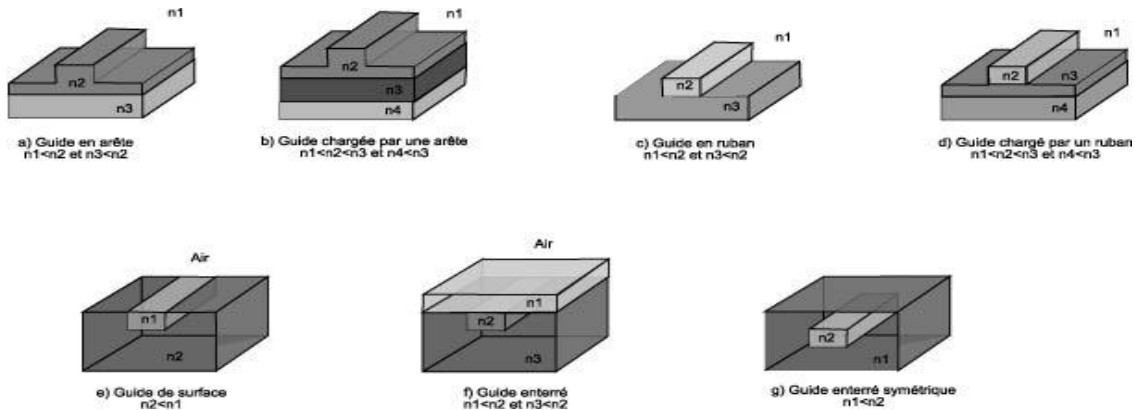
✓ الدليل محمل بشريط الشكل (d-1-II).

✓ الدليل السطحي الشكل (e-1-II).

✓ الدليل المغمور شكل (f-1-II).

✓ الدليل المغمور المتناظر شكل (g-1-II).

غالباً ما يخضع اختيار نوع الشكل للمعايير التكنولوجية.

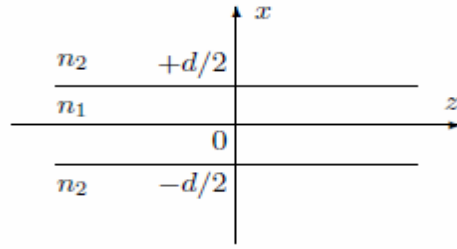


الشكل (1-II) يوضح مختلف أنواع تشكيلات أدلة موجات ثلاثية الأبعاد 3D . تشير المناطق الملونة المختلفة إلى طبقات بقرائن انكسار مختلفة.

## II - 1-5 أنماط الانتشار في الدليل الموجي العازل :

بنية دليل أمواج مستوي متناظر بمعامل انكسار عتبي :

الدليل الموجي المستوي متناظر هو بنية تتكون من ثلاث طبقات : طبقة موجهة بمعامل انكسار  $n_1$  وسمك  $d$  يتراوح بين  $[-\frac{d}{2}, \frac{d}{2}]$  محاط بوسطين لهما نفس قرينة الانكسار  $n_2$ .



الشكل (II-2) بنية دليل مستوي متناظر بمعامل انكسار عتبي .

سنقتصر دراستنا فقط على النمط TE وهذا لا يعني أننا أهملنا النمط TM إلا انه نفس طريقة الحل

المنتجة. [25]

يكون المعامل الانكسار ثابت في كل طبقة وتعطى معادلة الموافقة للطبقات الثلاث من أجل الأنماط TE.

$$\frac{\partial^2 E_y(x)}{\partial x^2} + (k_0^2 n(x) - \beta^2) E_y(x) = 0 \quad (\text{II} - 1)$$

يجب أن تحتوي الموجات الموجهة على الحقل الذي تم إلغاؤه لأنه سينتشر في الطبقة السفلية لذلك يجب أن

نحل .

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 E_y(x)}{\partial x^2} - A^2 E_y(x) = 0 & -A^2 = k_0^2 n_2^2 - \beta^2 < 0 \\ \frac{\partial^2 E_y(x)}{\partial x^2} + B^2 E_y(x) = 0 & B^2 = k_0^2 n_1^2 - \beta^2 > 0 \end{cases} \quad (\text{II} - 2)$$

الحقل له ثابت انتشار تخيلي في الطبقة السفلية وهذا ما يطلق عليه بالموجات المتلاشية . كما أن الحقل يكون متذبذبا في الدليل .

**الحلول :**

لدينا نوعين من الحلول وذلك باعتبار التناظر:

الجدول (II - 1) يوضح حلول معادله (II - 2):

الحلول الزوجية	الحلول الفردية	الحلول
$E_y(x) = E_1 \cos\left(B\frac{d}{2}\right) e^{A(x+\frac{d}{2})}$	$E_y(x) = -E_1 \sin\left(B\frac{d}{2}\right) e^{A(x+\frac{d}{2})}$	$x < -d/2$
$E_y(x) = E_1 \cos(Bx)$	$E_y(x) = E_1 \sin(Bx)$	$-d/2 < x < d/2$
$E_y(x) = E_1 \cos\left(B\frac{d}{2}\right) e^{-A(x-\frac{d}{2})}$	$E_y(x) = E_1 \sin\left(B\frac{d}{2}\right) e^{-A(x-\frac{d}{2})}$	$d/2 < x$

نختار الحقل الذي من أجله يكون المركبة  $E_y$  مستمرا .

$$E_1 \cos\left(B\frac{d}{2}\right) = E_2 \cos\left(B\frac{d}{2}\right) \text{ et } E_1 \sin\left(B\frac{d}{2}\right) = E_2 \sin\left(B\frac{d}{2}\right)$$

يتم إيجاد معادلة التشتت انطلاقا من علاقات الاستمرارية (I-8 ، I-9 ، I-10 ، I-11)

الجدول (II - 2) يوضح علاقات الاستمرارية للحقل  $E$  من أجل دليل موجي مستوي متناظر .

$x = -d/2$	$x = d/2$	استمرارية $\frac{\partial E_y}{\partial x}$
$B \sin\left(B\frac{d}{2}\right) = A \cos\left(B\frac{d}{2}\right)$	$B \sin\left(B\frac{d}{2}\right) = A \cos\left(B\frac{d}{2}\right)$	الحلول الزوجية
$B \cos\left(B\frac{d}{2}\right) = -A \sin\left(B\frac{d}{2}\right)$	$B \cos\left(B\frac{d}{2}\right) = -A \sin\left(B\frac{d}{2}\right)$	الحلول الفردية

الجدول (II - 2) يوضح علاقات الاستمرارية للحقل  $E$  من أجل دليل موجي مستوي متناظر.

إذن يمكن كتابة علاقة التشتت :

$$B\frac{d}{2} - \text{Arctg}\left(\frac{A}{B}\right) = m\frac{\pi}{2} \text{ (II - 3)}$$

ومن الجدير بالذكر أن  $m$  و  $E_y$  متكافئان حيث  $m$  عدد الأنماط ونميز :

- دليل موجي متعدد الأنماط : يسمح بوجود عدة أنماط موجية ، معادلة التشتت (I-51) تعطي حلول مختلفة من أجل كل قيمة ل  $m$  تختلف عن 0.
- دليل موجي أحادي النمط : لا يسمح إلا بنمط واحد موجه معادلة التشتت (I-51) تعطي حل وحيد من أجل قيمة  $m=0$ .

علاقات النظامية:

نستنتج المتغيرات النظامية التالية :

$$n_a = \frac{\beta}{k_0}$$

$$V = k_0 \frac{d}{2} \sqrt{(n_1^2 - n_2^2)} \quad (\text{II} - 4)$$

تردد القطع :

$$\text{النمط } m \text{ موجود من أجل } V \geq V_c^m = m \frac{\pi}{2} \text{ حيث}$$

$$V_c^m : \text{ تردد القطع لكل نمط}$$

عدد الأنماط الموجهة تعطى بالعلاقة التالية :

$$M_{TE} = E \left( \frac{2V}{\pi} \right) \quad (\text{II} - 5)$$

حيث  $m$  يمثل رقم التسلسلي للأنماط ويأخذ  $m(= 0, 1, 2, \dots)$  ويمثل الجزء الصحيح لإيجاد نمط واحد للنوع TE والذي يوافق الدليل أحادي النمط يجب أن نحقق :

$$E \left( \frac{2V}{\pi} \right) = 1 \Rightarrow 0 < V < \frac{\pi}{2} \quad (\text{II} - 6)$$

II-2-1 الطرق التحليلية:

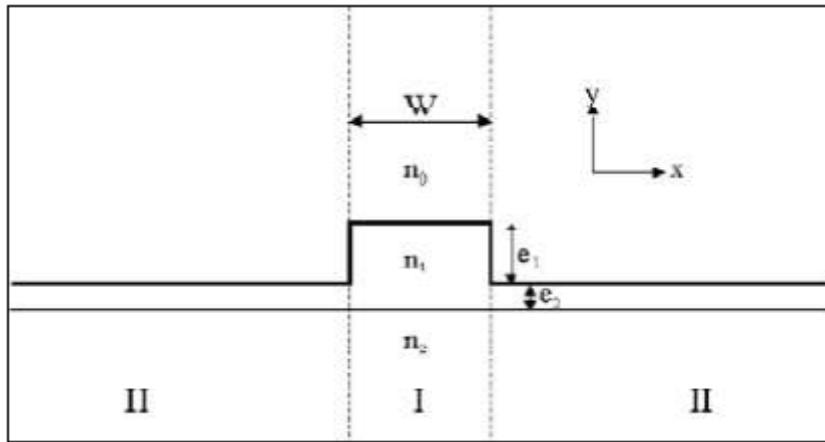
II-2-1-1 طريقة القرينة الفعالة :

نظراً لتعدد البنية الهندسية لبعض الأدلة الموجية، فإن الحل التحليلي لمعادلات ماكسويل لتحديد النمط مستحيل في حالة الأدلة الموجية ثلاثية الأبعاد. وبالتالي تم اللجوء إلى استخدام طرق عددية مختلفة. وتتمثل في : طريقة العناصر المحدودة [27] ، وطريقة الفروق المحدودة [28] ، وطريقة المعادلة المتكاملة [29] [30]. تؤدي المحاكاة إلى قيم مختلفة لثوابت الانتشار اعتماداً على الطريقة المستخدمة ، على الرغم من أن هذه الطرق تعتبر صارمة. إلا أنه بعض الاختلافات في النتائج التي ترتبط بشكل أساسي بأخطاء التقريب الرقمي أو باختيار خطوة التقدير.

تعتمد طريقة القرائن الفعالة ، التي استخدمناها ، على طريقة تحليلية بسيطة ، ولكن يجب استخدامها بحذر وبشروط، لأنها لا تنطبق إلا على الأدلة ذات ارتفاع المنخفض. نظرًا لقيود الأبعاد المفروضة على البصرييات المتكاملة ، فإن هذه الشرط في معظم الحالات يكون محققة.

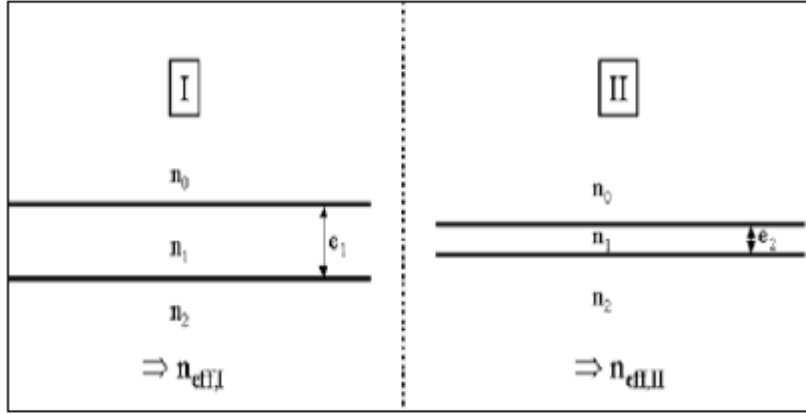
مبدأ هذه الطريقة هو كما يلي: يتم حساب ثوابت الانتشار في دليل موجي مع تحديد قرينة ثنائية الأبعاد بدلالة  $n(x, y)$  ، عن طريق حل مشاكل أحادية البعد بشكل منفصل في البعدين  $x$  و  $y$  أي أننا نقسم معادلة الموجة ثنائية الأبعاد إلى معادلتين موجتين أحاديتين.

يعتمد حل هاتين المعادلتين على فصل متغيرات للحقل المنتشر ، أي  $E(x, y) = F(x).G(y)$  ، يتم تنفيذ هذا على مرحلتين نقوم بالتفصيل هنا للحصول على دليل الشريط كما هو موضح تخطيطي في الشكل (14-I) [31][32].

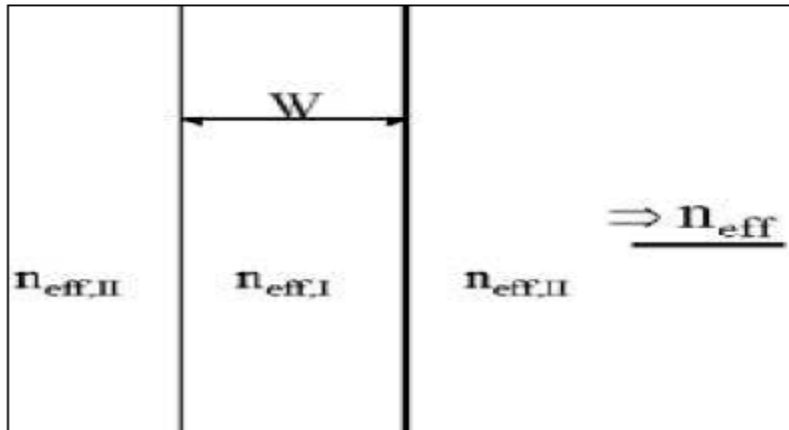


الشكل (II-3) التقسيم المستعمل في طريقة قرينة الانكسار الفعالة (والظاهرية) لدليل موجي ذو حواف .

الخطوة الأولى: تتمثل في حساب القرائن الفعالة للمنطقتين الأولى والثانية والحقول الموافقة لها من خلال معالجة أدلة المستوي لكل منطقة (الشكل الأول (I-15)). مثل حل معادلة الموجة لحقل  $G$  في كلتا المنطقتين .



الشكل (II-4): طريقة القرينة الفعالة، مرحلة حساب القرائن الفعالة في كل من المنطقتين الأولى والثانية. الخطوة الثانية: تستخدم الآن القرائن  $n_{eff1}$  و  $n_{eff2}$  التي تم الحصول عليها سابقا لحساب القرينة الفعالة والتوزيع الحقل لدليل المستوى المحدد في الاتجاه المتعامد والعرض  $W$  (الشكل (I-16) وبالتالي نحصل على حل معادلة الموجة للدالة  $F(x)$  والقرينة الفعالة  $n_{eff}$  ، (وبالتالي ثابت الانتشار) يعادل بنية دليل الشريط.



(II-5) الخطوة الثانية لحساب قرينة الانكسار الفعالة (والظاهرية) لدليل موجي .

تفترض هذه التقنية تقريبًا رياضيًا مما يجعل نتائجها غير مثلى. ومع ذلك ، يعتبر جيدًا لحساب تقريبي وسريع للقرينة الفعالة ، بحيث تكون القرينة الفعالة قريبة من القرينة الأساسية للقلب بالنسبة للبنية التي تمت دراستها في هذه الدراسة.



## II -2-2 الفقد في الأدلة الموجية:

يخضع انتشار الحزمة في الدليل إلى خسائر بصرية من أنواع مختلفة نميز :

❖ الفقد الجوهري، الكامنة في المادة ، المنسوبة إلى تشتت رايلي (عدم تجانس الدقيق للمؤشر والتكوين والكثافة) والأشعة فوق البنفسجية والامتصاص الصوتي المتعدد.

❖ الفقد الخارجي المركب:

▪ الفقد عن طريق الانتشار: تأتي من عيوب تقع داخل الطبقة التوجيهية أو في الواجهات. ، نميز أسباب هذا الفقد:

▪ العيوب السطحية للعينات (خدوش التلميع ، الغبار ، إلخ).

▪ القيود المرتبطة بعملية التبادل الأيوني (الشقوق أو التورم أو انهيار المصفوفة).

▪ من الممكن وجود بلورات دقيقة وميكروبات في الزجاج.

▪ الفقد بسبب الامتصاص: يحدث بشكل رئيسي بسبب وجود شوائب كيميائية في مصفوفة الزجاج: المعادن الانتقالية أو أيونات الهيدروكسيل على سبيل المثال.

▪ فقد الناشئ من الانعكاس: ترتبط بالخشونة السطحية وبالتالي يتسبب في انخفاض قوة الإشارة.

▪ تكون هذه الخسائر أكبر في أنماط الانتشار عالية الرتبة التي يكون فيها عدد الانعكاسات على السطح البينية أكبر.

▪ خسائر الإشعاع: بسبب نقل جزء من الطاقة من وضع موجه إلى وضع إشعاعي (في واجهة توجيه الهواء أو الركيزة التوجيهية). تكون خسائر الإشعاع ضئيلة بشكل عام بالنسبة للأوضاع المحصورة جيدًا ، وعلى العكس من ذلك ، فهي عالية لأنماط الترتيب العالي.

▪ وبالتالي ستعتمد جودة الدليل على هذه الأنواع الأربعة من الخسائر. معامل الخسارة (بالديسيل / سم) ، الذي يفسر توهين الإشارة الناجم عن هذه الآليات ، هو دالة لطول موجة الإشارة [33].

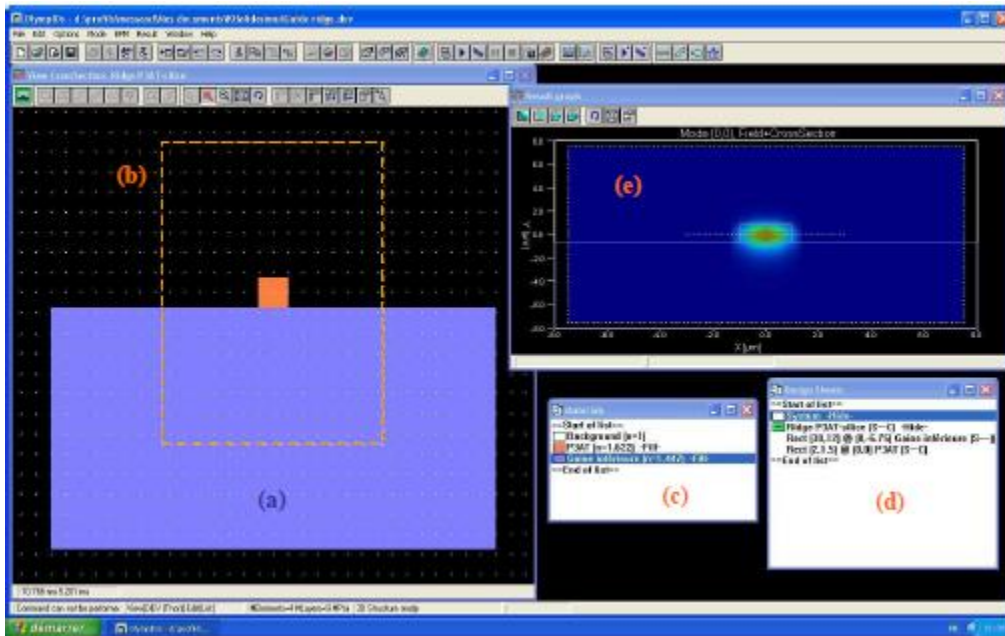


## الفصل التطبيقي III

مقدمة:

في هذا الفصل، سنجري محاكاة عددية على تشكيلات مختلفة من الأدلة الموجية خصوصا الدليل الموجي ذو قناة مغمورة، أولا سنبدأ بحساب قرينته الانكسار الفعالة بطريقتين مختلفتين، ثم نقوم بتحديد أبعاد الدليل الموجي التي تحقق انتشار للضوء أحادي النمط . وأخيرا سنقوم بتحديد الفقد الضوئي في هذه البنية باستخدام طريقة FD-Generic المتضمنة في برنامج المحاكاة OlympIOs المخصص لتصميم المركبات الكهروضوئية . والنتائج المتحصل عليها في كل مرحلة سيتم التعليق عليها وتحليلها.

- طريقة FD-Genenric: وهي أحد الطرق المتضمنة ضمن OlympIOs وتعتمد على الفروق المحدودة [36] والتي تمكن من تحديد المقطع العرضي للدليل في أقسام مستطيلة صغيرة. هذه الطريقة تجعل من الممكن حساب الأنماط الموجهة وتحديد الفقد الضوئي بدقة .
- محاكاة OlympIOs : هو برنامج محاكاة من اجل تصميم المركبات الضوئية مثل تلك التي ترشح الاطوال الموجية , او التي تمزج الاطوال الموجية , هذا البرنامج يعتمد على العديد من الطرق العددية المشهورة مثل الفروق المتناهية الصغر FD, finit difference, او FDTD الفروق المتناهية الصغر في المجال الزمني و FD-Genenric, يعني يمكن استعمال عدة طرق لمحاكاة نفس الشئ كالضياح الضوئي , او معادلة الانتشار او معامل الحجر الخ



الشكل (1-III) النافذة الرئيسية لوحدة برنامج OlympIOs

- (a) تصميم الدليل ،  
 (b) نافذة الحساب  
 (c) نافذة لتحديد أبعاد الدليل ،  
 (d) نافذة لتعريف مواد الدليل ،  
 (e) مثال لحساب الحقل الكهربائي

### III - 1 اختيار مواد البوليمير :

في منتصف السبعينيات ، تم إنتاج أدلة الموجة "القناة" بمواد غير عضوية ، ومنذ التسعينيات ، تمت دراسة مواد البوليمير بشكل متزايد بسبب تكاليف إنتاجها المنخفضة نسبيًا و للتتنوع الكبير في قرائن الانكسار التي يمكن أن يوفرها هذا النوع من المواد. [23]

وهناك العديد من البوليمرات التي تستخدم في إنتاج الأدلة ومن بينها PMMA و PMATRIF و PMMI و PVCi و PVC.

سوف ندرس أنواعا مختلفة من الأدلة الموجية ثلاثية الأبعاد،

(الشكل(1-II) بحيث تم تجميع واختيار البوليمرات المستخدمة في الجدول (1-III).

الجدول (1-III): بعض البوليمرات المستخدمة في إنتاج أدلة الموجة. [34]

التوهين	$\Delta n$	$n_c$	$n_g$	الغمد	اللب
0,8 dB/cm	0.072	1,481	1,409	PMATRIFE	PMMA
	0.15	1,562	1,409	PMATRIFE	PVCi insolé

الجدول (1-III): بعض البوليمرات المستخدمة في إنتاج أدلة الموجة

يعتمد اختيار المواد بشكل كبير على الفرق في معامل الانكسار  $\Delta n$  الموجود في الجدول .

في البصريات الموجهة، ينتشر الضوء في الوسط ذو أكبر قرينة الانكسار. بالإضافة إلى ذلك، يوجد علاقة متداخلة بين الفرق في قرائن الانكسار (اختلاف قرينة الانكسار اللب الدليل وقرينة الانكسار لغمده  $\Delta n$ )، أبعاد الدليل الموجي وطبيعة الانتشار أحادي النمط أو متعدد النمط .

حيث كلما كان هذا الفرق  $\Delta n$  أكبر، كلما كانت أبعاد الدليل الموجي أحادي النمط أصغر.

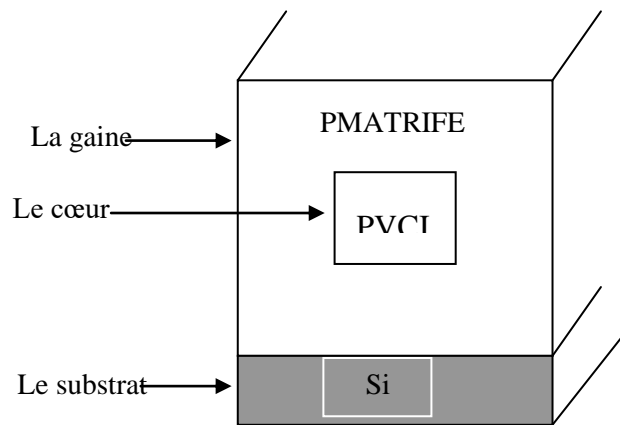
هذه الميزة تمكن من تصغير الدوائر الضوئية المتكاملة (الدمجة) وزيادة كثافة المركبات المدمجة في حجم أصغر.

الثنائية البوليميرية التي اخترناها في دراستنا لتشكيل الثنائية (لب \ غمد) للأدلة الموجية هي:  
(PVCi\PMatrif).

- ❖ اللب مكون من مادة PVCi التي معامل انكسارها (n = 1.562).
- ❖ الغمد مكون من مادة PMATRIFE معامل انكسارها (n=1,409) الذي يحيط باللب.
- ❖ الطبقة التحتية المادة مادة السيليكا و (Si (n = 3.4 ، معامل انكسارها والتي يتم وضع طبقة عليها.

### III - 2 تحديد أبعاد الدليل الموجي :

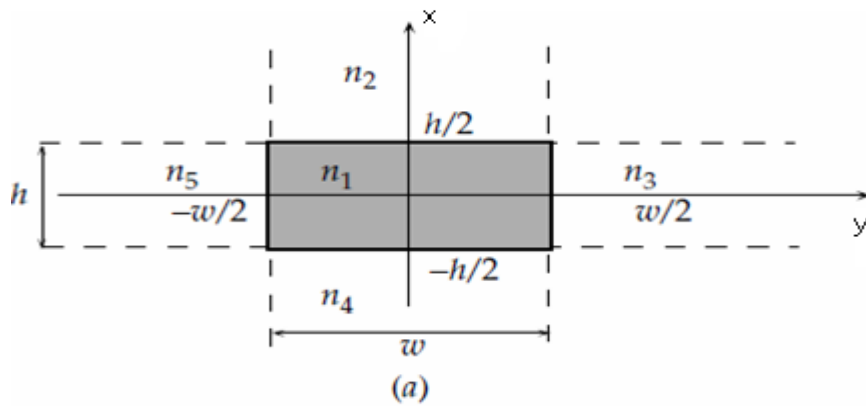
سنركز دراستنا بشكل أساسي على شكل الدليل الموجي ذو القناة المغمورة بمعامل انكسار عتبي الشكل (III-1) الذي يتكون فيه اللب من مادة بوليميرية ( PVCi (n=1,562 محاط بغمد من مادة بوليميرية تدعى PMATRIFE (n=1,409) الكل متوضع على طبقة من مادة السيليكون .  
حيث أننا لاحظنا أن الفرق بين قرائن الانكسار  $\Delta n$  للزوج (PMATRIFE / PVCi) أكبر من جميع أزواج المواد البوليميرية المتاحة في الجدول حيث تقدر ب  $\Delta n = 0.153$  [34]. ان تناظر هذه البنية و سهولة تصميمها هما سببان يجعلاننا نولي أهمية كبيرة لهذه البنية ومع ذلك فإننا سنقوم بمحاكاة أنواع أخرى من الأدلة .



الشكل ( III - 2) بنية دليل موجي المقترح للدراسة.

### III - 3- قرينة الانكسار الفعالة :

تعد قرينة الانكسار مقدار مهم يميز الدليل حيث أنه يساهم في تحديد بنية وعدد الأنماط المنتشرة في الدليل الذي يظهر بوضوح في العديد من العلاقات. يمكن أن نقصر حساب قرينة الانكسار الفعالة (أو الظاهرية) لدليل موجي ذو قناة مغمورة إلى دراسة دليل مستوي بالاعتماد على طريقة الانكسار الفعالة حيث أننا يمكننا أن نقسم الدليل ذو بعدين إلى دليلين متعامدين من بعد واحد دليل موجي أفقي و آخر عمودي ، ثم نقوم بدراسة لب الدليل الموجي بدءاً بالبعد الأفقي ثم البعد العمودي كما هو موضح في الشكل.

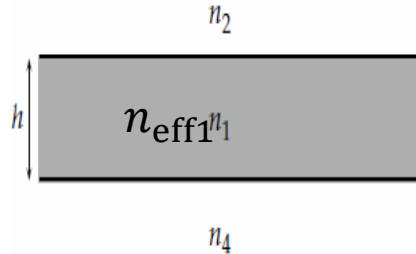


الشكل ( III - 3) دليل موجي مغمور مقسم إلى بعدين أفقي وعمودي بشكل بلاطة أو لوحة.

### III - 3- 1 خطوات حساب معامل الانكسار الفعالة :

#### III - 3- 1- 1 الخطوة الأولى :

تحديد البعد العمودي h الذي يتوافق مع الدليل المستوي الشكل ( III - 3)



الشكل ( III - 4) يتم تحليل قرينة الانكسار الحقيقية للدليل الموجي المستوي الأفقي.

يمكن تحديد معامل قرينة الانكسار لهذا النوع من الأدلة الموجية بالعلاقة التالية :

$$n_{\text{eff}} = \frac{\beta}{k_0} \quad (\text{III} - 1)$$

حيث أن المعادلة المميزة من أجل النمط TM للدليل الموجي المتناظر المستوي يعني ( $n_2 = n_4$ ) تكون من الشكل :

$$\tan \kappa_x h/2 = \frac{n_1^2 \gamma_x}{n_2^2 \kappa_x} \quad (\text{III} - 2)$$

المتغير الوحيد في المعادلة (III - 2) هو  $\kappa_x$  حيث أن  $n_1 = 1.562$  ,  $h = 1.5 \mu\text{m}$

$$n_2 = 1.409 , \lambda = 1.55 \mu\text{m}.$$

و  $\gamma_x$  و  $\beta$  يتغيران بدلالة  $\kappa_x$  أو يتغيران وفق دالة ل  $\kappa_x$  حيث تعطى عباراتيهما على الترتيب :

$$\gamma_x = \sqrt{k_0^2(n_1^2 - n_2^2) - \kappa_x^2} \quad (\text{III} - 3)$$

$$\beta = \sqrt{k_0^2 n_1^2 - \kappa_x^2} \quad (\text{III} - 4)$$

لإيجاد الحل بيانياً للمعادلة (III - 2) يجب حساب  $k_0$  أولاً حيث أن

$$k_0 = 2\pi/\lambda = \frac{2 \times 3.14}{1.5 \times 10^{-6}} = 4.053 \times 10^6 \text{m}^{-1}$$

و من ثم نجد الحلول للمعادلة :

$$\kappa_x = 1.46075 \times 10^6 \text{m}^{-1}$$

$$\beta = 6.1610 \times 10^6 \text{m}^{-1}$$

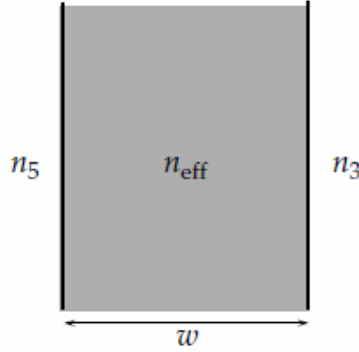
وعليه لإيجاد قرينة الانكسار الفعالة نعوض بكلا قيمتين  $\kappa_x$  و  $\beta$  في العلاقة التالية :

$$n_{\text{eff}1} = \frac{\beta}{k_0} = \frac{6.1610 \times 10^6 \text{m}^{-1}}{4.053 \times 10^6 \text{m}^{-1}} = 1.5199$$



### III-3-1-2 الخطوة الثانية :

نحدد البعد الأفقي  $w$  الذي يتوافق مع الدليل المستوي العمودي .



الشكل ( III - 5) يتم تحليل الدليل الموجي المستوي باستخدام القرينة الفعالة الموجود في تحليل الدليل الموجي الأول.

حيث أن المعادلة المميزة من أجل النمط TE للدليل الموجي المتناظر يعني

$$(n_3 = n_5 = n_2)$$

تكون من الشكل :

$$\tan \kappa_y w/2 = \frac{\gamma_y}{\kappa_y} \quad (\text{III} - 5)$$

حيث أن:  $h = w = 1.5\mu\text{m}$

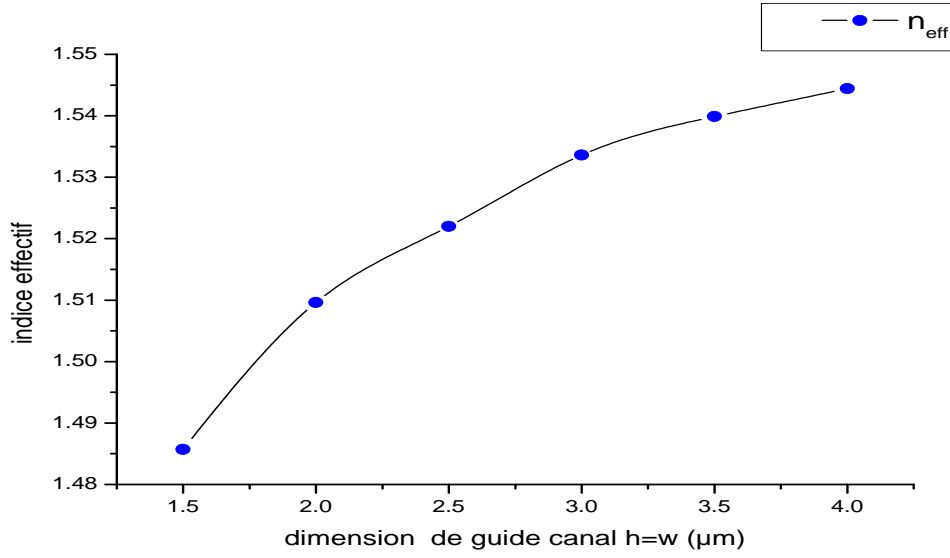
$$\gamma_y = \sqrt{k_0^2(n_{\text{eff}1}^2 - n_2^2) - \kappa_y^2} \quad (\text{III} - 6)$$

$$\beta = \sqrt{k_0^2 n_{\text{eff}1}^2 - \kappa_y^2} \quad (\text{III} - 7)$$

ونستطيع بنفس الطريقة حساب قرئ الانكسار لأدلة موجية بقناة مغمورة ذات أبعاد أخرى من أجل :

$$h = w = 2\mu\text{m}; 2,5 \mu\text{m}; 3\mu\text{m}; 3,5\mu\text{m}; 4\mu\text{m}$$

المنحنى في الشكل ( III -6) يمثل تغيرات قرينة الانكسار الفعالة بدلالة مختلف الأبعاد اللب مربع الشكل. ( $h=w$ ).



الشكل ( III -6) يوضح تغيرات  $n_{\text{eff}}$  بدلالة البعد  $h$  لدليل قناة المتحصل عليه بطريقة القرينة الفعالة .

نلاحظ أن قرينة الانكسار الفعالة تنقص بنقصان بعد الدليل الموجي , حيث أنه كلما كان بعد الدليل صغيرا كانت قرينة الانكسار الفعالة أقل .

III -3-2 حساب قرينة الانكسار عن طريق المحاكاة :

القرينة الفعالة لدليل موجي بقناة مغمورة ، لقرائن الفعالة لمختلف البنيات أو الهياكل تتعلق بأبعاد لب الدليل الموجي.

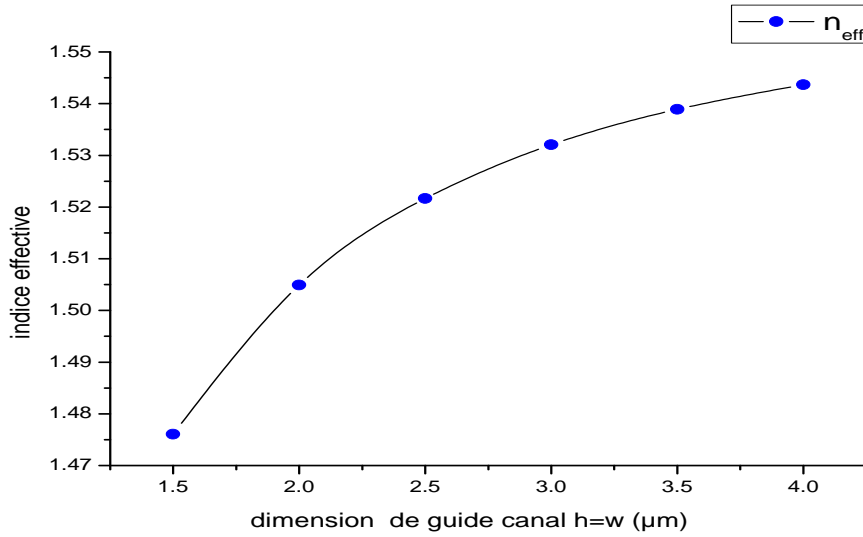
نقوم بتطبيق طريقة FD-geniric في نظام المحاكاة OlympIOs لحساب القرائن الفعالة لدليل قناة مغمورة معتغير بعد القناة في كل مرة:  $h = w = 2 ; 2,5 ; 3 ; 3,5 ; 4 \mu\text{m}$ .

الجدول ( III -2 ) يوضح قرائن الانكسار الفعالة لدليل ذو قناة مغمورة لمختلف الأبعاد بالمحاكاة

$n_{\text{eff}}$	$h = w$ ( $\mu\text{m}$ )	نوع لدليل موجي
1.47607659555	1.5	قناة مغمورة
1.50489564748	2	
1.52163545216	2.5	
1.53204671741	3	
1.53891410584	3.5	
1.54366726154	4	

الجدول ( III -2 ) يوضح قرائن الانكسار الفعالة لدليل ذو قناة مغمورة لمختلف الأبعاد بالمحاكاة

المنحنى الموضح في الشكل ( III -7) يوضح تغيرات  $n_{eff}$  بدلالة تغيرات الأبعاد ( $h = w$ ) وهذه النتائج متحصل عليها في الجدول بطريقة المحاكاة .

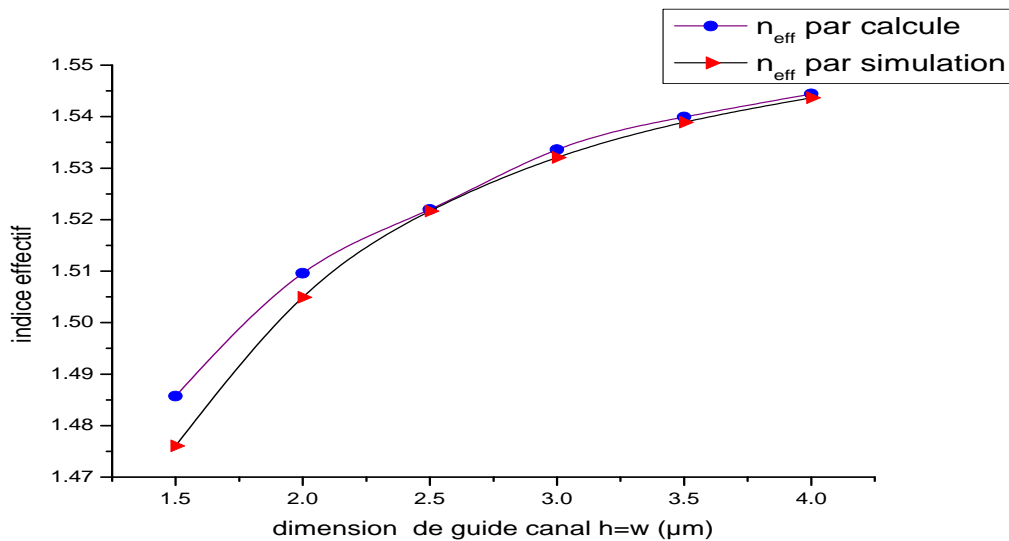


الشكل ( III -7) يوضح تغيرات  $n_{eff}$  المتحصل عليها بالمحاكاة بدلالة البعد  $h$  لدليل قناة.

الملاحظة : نلاحظ أن الدليل الموجي للقرائن الفعالة تتناسب طردا مع الأبعاد  $h$ .

III -3-3 دراسة مقارنة بين حساب قرينة الانكسار الفعالة (الظاهرية) بطريقتين:

نقوم بمقارنة النتائج المتحصل عليها للقرائن الفعالة  $n_{eff}$  بطريقة الانكسار الفعالة والنتائج المتحصل عليها بالمحاكاة العددية ببرنامج OlympIos ثم نقوم برسم المنحنيين في نفس المعلم الشكل ( III -8).



الشكل ( III -8) المقارنة بين تغيرات  $n$  بدلالة  $h$  المتحصل عليها بطريقتين .

من الشكل (III - 8) نلاحظ ان للمنحنيين نفس الشكل ونفس التطور :

نلاحظ أن هناك توافق في المنحنيين في الأبعاد  $h > 2.5\mu\text{m}$  مع تغير طفيف في المنحنى في الأبعاد  $h < 2.5\mu\text{m}$  .  
ومع ذلك فإن طريقة القرينة الفعالة المستعملة تعطي نتائج أكثر دقة لأنها كافية لإيجاد حلول دقيقة للمعادلتين (III - 2) و (III - 5) على عكس طريقة المحاكاة ببرنامج FD-generic التي تتعلق بالشبكة المستخدمة .

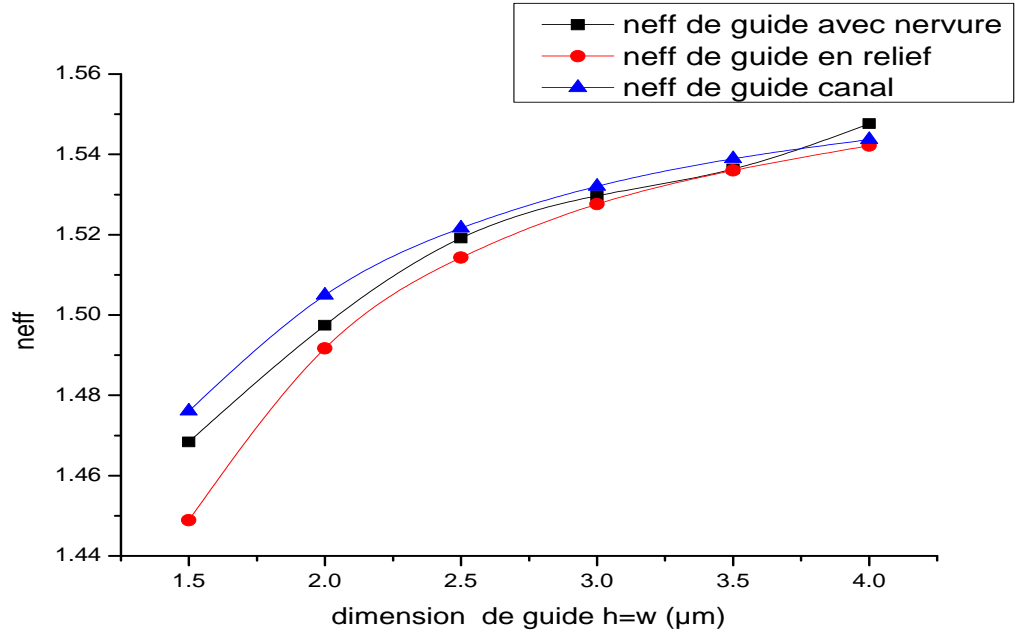
III - 3-4 حساب القرائن الفعالة للدليلين الموجيين (شريطي الشكل و عرقي الشكل):

إن حساب القرائن الفعالة لدليل موجي شريطي الشكل و عرقي الشكل تكون معقدة باستعمال طريقة القرائن الفعالة لذا نلجأ إلى الاستعانة بالمحاكاة والتي تمكننا من الحصول على النتائج بسرعة وبدقة وهنا نستخدم طريقة FD-generic .  
والنتائج المحصل عليها مدونة في الجدول (III - 3). الجدول (III - 3) القرينة الفعالة لدليل موجي شريطي الشكل و عرقي الشكل لمختلف الأبعاد .

$n_{\text{eff}}$	$h(\mu\text{m})$	نوع الدليل	$n_{\text{eff}}$	$h(\mu\text{m})$	نوع الدليل
1.4683	1.5	دليل	1.4488	1.5	دليل
1.4974	2	موجي	1.4916	2	موجي
1.5191	2.5	عرقي	1.5143	2.5	شريطي
1.5297	3	الشكل	1.5276	3	الشكل
1.5363	3.5		1.5359	3.5	
1.5476	4		1.5421	4	

الجدول (III - 3) القرينة الفعالة لدليل موجي شريطي الشكل و عرقي الشكل لمختلف الأبعاد .

النتيجة البيانية ل دليلين الشريطي والعرفي مع مقارنة بين  $n_{eff}$  لمختلف أنواع الأدلة الموجية عن طريق المحاكاة.



الشكل ( III -9) مقارنة بين  $n_{eff}$  لمختلف أنواع الأدلة الموجية عن طريق المحاكاة.

**الملاحظة :** نلاحظ أن القرينة الفعالة  $n_{eff}$  لها نفس منحى التغير لجميع أنواع الأدلة الموجية.

### III -4 تحديد القيم الحدية لدليل موجي أحادي النمط :

لتحقيق تكامل ودمج جميع الوظائف في الاتصالات الضوئية يجب أن يكون الدليل الموجي أحادي النمط ولتصميم هذا الأخير يجب الأخذ بعين الاعتبار أبعاد لب هذا الدليل أي العرض  $w$  و السمك  $h$ . إضافة إلي القرينة الانكسار الفعالة  $n_{eff}$  من أجل تحديد القيم الحدية لأبعاد لب الدليل الموجي أحادي النمط لمختلف أنواع الأدلة الموجية المدروسة سابقاً (دليل موجي على شكل قناة مغمورة ، دليل موجي شريطي الشكل ودليل موجة عرفي الشكل) ارتأينا تبسيط الدراسة لتشمل فقط الأدلة ذات اللب مربع الشكل أي ( $w=h$ ).

نقوم في كل مرة بتغيير أبعاد دليل الموجة محل الدراسة ومن ثم نحدد السمك الأعظمي  $h_{max}$  الذي من أجله يكون الدليل أحادي النمط ، وهذا باستخدام طريقتين مختلفتين :

- الطريقة التحليلية : باستعمال طريقة تردد القطع .
- الطريقة العددية ( المحاكاة ) : باستعمال برنامج OlympIOs .

III -4-1 طريقة تردد القطع :

طريقة تردد القطع تمكننا من تحديد البعد الأعظمي الذي من أجله يكون الدليل أحادي النمط حيث تعتمد هذه الطريقة على حساب التردد النظامي لكل بعد. أحادية النمط تتحقق من أجل البعد الموافق لأقل تردد من تردد القطع .

من أجل دليل متناظر لدينا :

تردد القطع :

$$V_c^m = m \frac{\pi}{2} \quad (\text{III} - 8)$$

التردد النظامي :

$$V = k_0 \frac{h}{2} \sqrt{(n_{\text{eff}}^2 - n_2^2)} \quad (\text{III} - 9)$$

لأجل نمط واحد  $m = 1$  أي نوع TE

$$m = 1 \quad \text{et} \quad V < V_c^1 \quad \Rightarrow \quad V < \frac{\pi}{2} = 1.5707$$

نطبق هذه الطريقة من أجل دليل موجي مغمور القناة مستعملين برنامج MATLAB ونتحصل على النتائج التالية :

الجدول (III -4) يبين أحادية الدليل لدليل موجي بشكل قناة مغمورة.

النتيجة	سمك الدليل الموجي ( $\mu\text{m}$ )	التردد النظامي
أحادي النمط	1.5	1.4325
أحادي النمط	2	1.5689
متعدد النمط	2.5	2.2789
متعدد النمط	3	2.9161
متعدد النمط	3.5	3.6818
متعدد النمط	4	4.4074

الملاحظة : نلاحظ أن التردد النظامي يكون أقل من تردد القطع في الأبعاد  $h \leq 2\mu\text{m}$  والذي يكون من أجله الدليل أحادي النمط أما في القيم أو الأبعاد  $h > 2\mu\text{m}$  يكون الدليل متعدد النمط .

### III -4-2 أشكال أدلة الموجية لمختلف الأنماط :

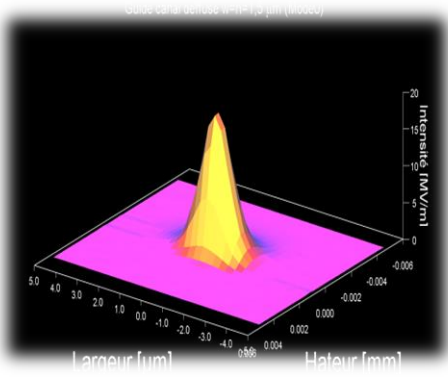
إن برنامج OlympIOs و طريقة FD-Generic تمكننا من تحديد نوع النمط لكل بعد من أبعاد القلب ولتحقيق ذلك نقوم بتغيير حجم الدليل وتحليل في كل مرة ملفات الأنماط المتحصل عليها والموافقة لكل حالة تغيير ( أي تغيير حجم القلب ) ونميز إما أن يكون الدليل أحاديا النمط أو متعددًا , حيث تكون جميع الأدلة أحادية النمط إلى غاية بعد معين حيث يظهر نمط آخر وفي دراستنا يكون النمط المتعدد

صور ملفات الأنماط موضحة في الأشكال (10-III، 11-III، 12-III) نتائج المحاكاة المتحصل عليها لمختلف أنواع الأدلة موضحة في الجدول (III -5).

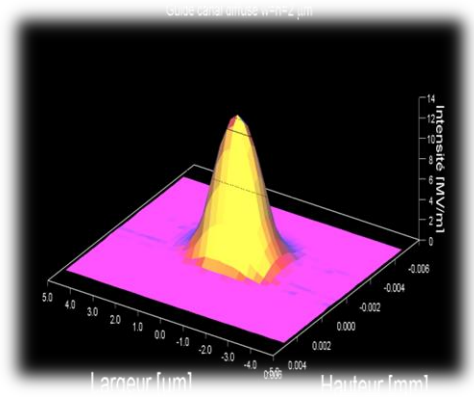
الجدول (III -5) يوضح الحجم الأعظمي للقلب من أجل تحقيق أحادية الدليل لمختلف أشكال وبنيات الدليل.

نوع الدليل الموجي	السماك الأعظمي لللب من اجل دليل أحادي النمط
بقناة مغمورة	2
شريطي الشكل	2.5
عرقى الشكل	2

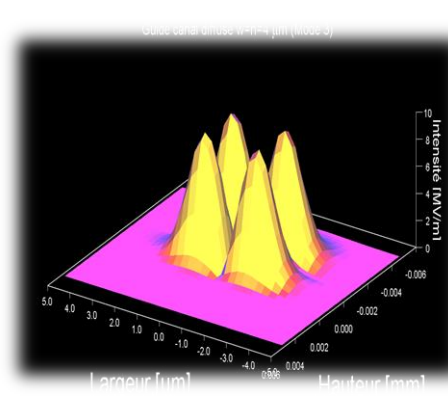
من اجل دليل بقتاة مغمورة :



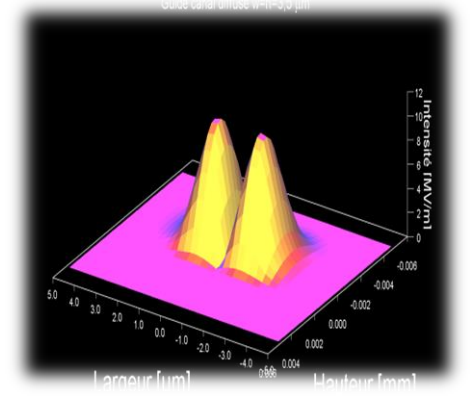
دليل موجي بقتاة مغمورة  $h=w=1.5 \mu\text{m}$  (نمط 0).



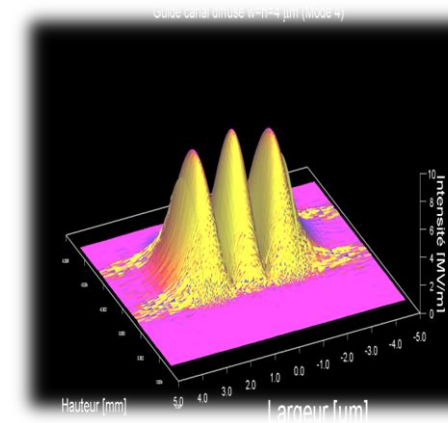
(a) دليل موجي بقتاة مغمورة  $h=w=2 \mu\text{m}$  (نمط 0).



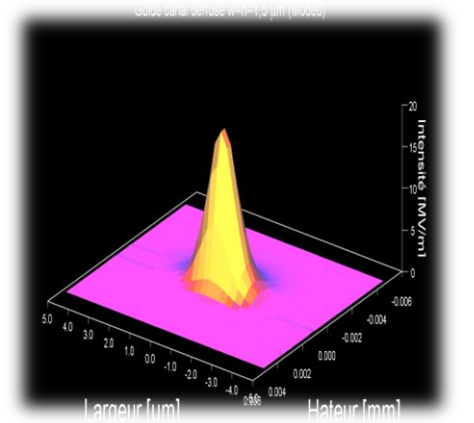
(d) دليل موجي بقتاة مغمورة  $h=w=3.5 \mu\text{m}$  (نمط 1)



(c) دليل موجي بقتاة مغمورة  $h=w=4 \mu\text{m}$  (نمط 3)



(f) دليل موجي بقتاة مغمورة  $h=w=4 \mu\text{m}$  (نمط 4)

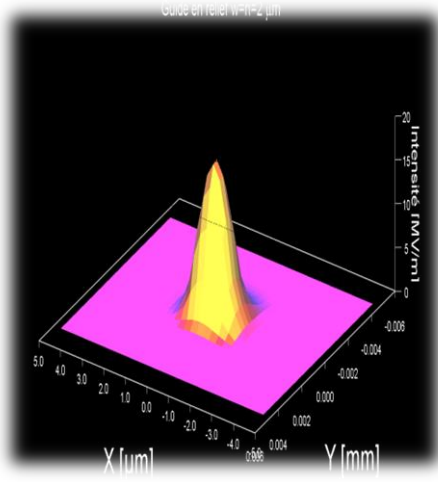


(e) دليل موجي بقتاة مغمورة  $h=w=1.5 \mu\text{m}$  (نمط 0)

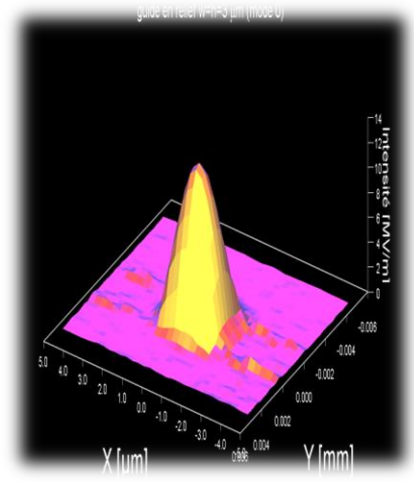
الشكل ( III - 10) الأنماط لدليل موجي بقتاة مغمورة.



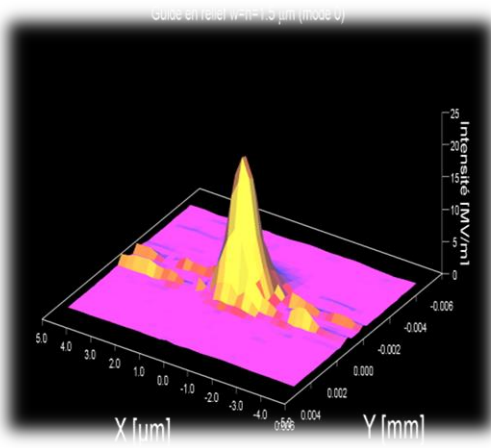
من اجل دليل موجي شريطي الشكل:



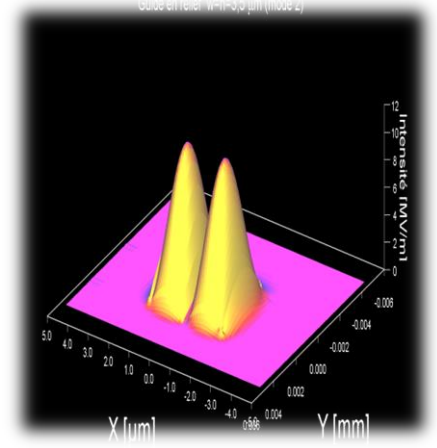
(b) دليل موجي شريطي الشكل  $h=w=2 \mu\text{m}$  (نمط 0)



(a) دليل موجي شريطي الشكل  $h=w=3 \mu\text{m}$  (نمط 0)



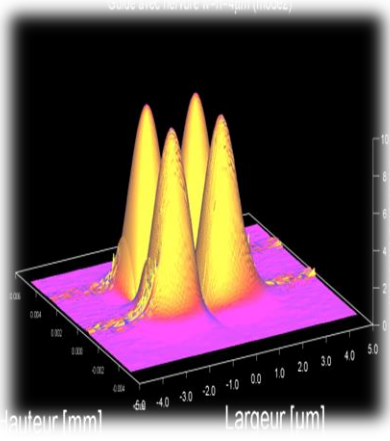
(d) دليل موجي شريطي الشكل  $h=w=1.5 \mu\text{m}$  (نمط 0)



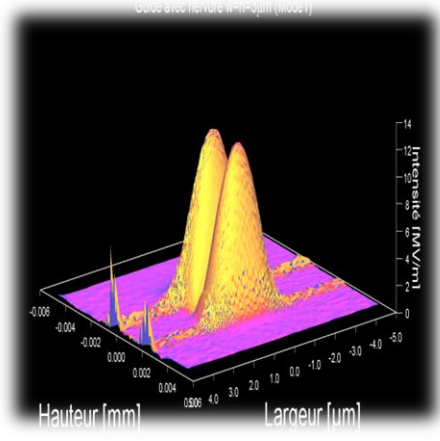
(c) دليل موجي شريطي الشكل  $h=w=3.5 \mu\text{m}$  (نمط 2)

الشكل ( III - 11) الأنماط لدليل موجي شريطي الشكل.

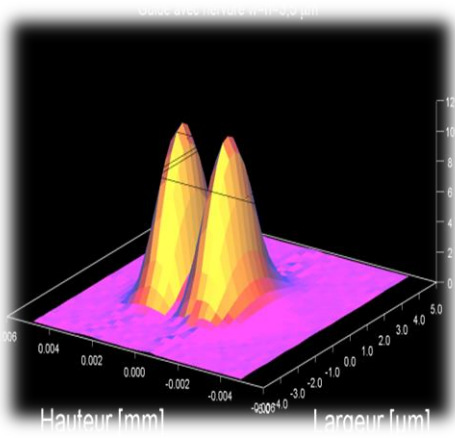
من اجل دليل موجي عرقي الشكل :



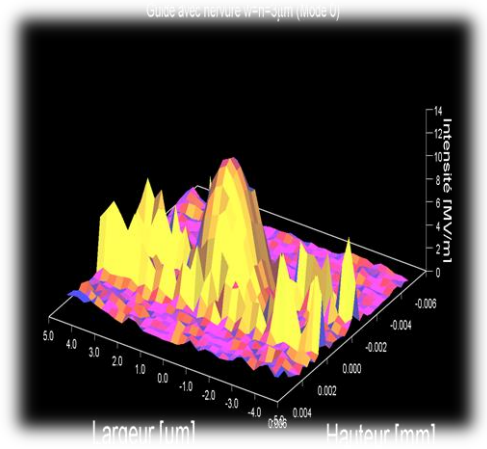
(b) دليل موجي عرقي شكل  $h=w=4 \mu\text{m}$  (نمط 2)



(a) دليل موجي عرقي شكل  $h=w=3 \mu\text{m}$  (نمط 1)



(d) دليل موجي عرقي شكل  $h=w=3.5 \mu\text{m}$  (نمط 1)

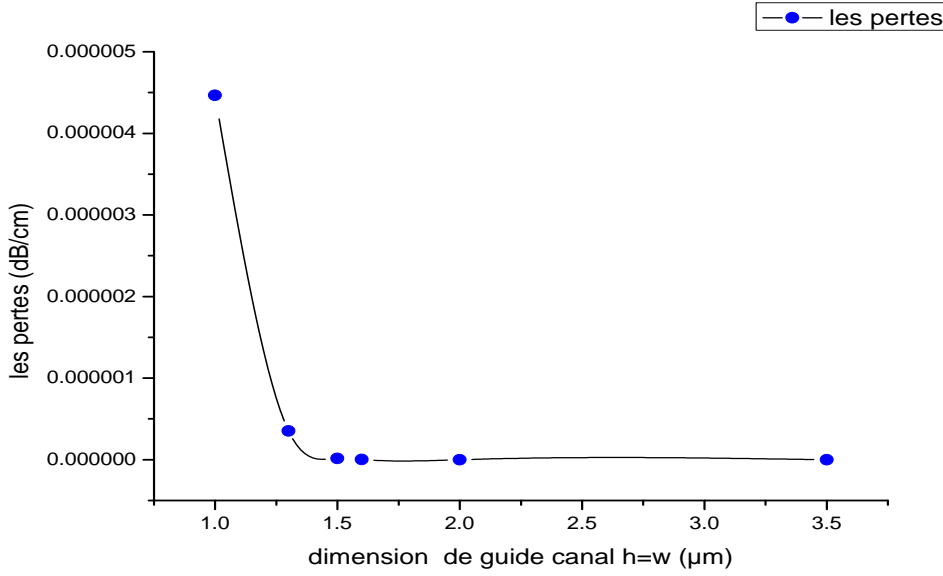


(c) دليل موجي عرقي شكل  $h=w=3 \mu\text{m}$  (نمط 0)

الشكل ( III - 12) الأنماط لدليل موجي عرقي الشكل

III - 5 حساب فقد الضوئي لمختلف أبعاد دليل موجي ب قناة مغمورة باستعمال طريقة محاكاة :

لتصميم دليل موجي يجب تحديد قيمة الضوء الممتصة من طرف المادة.  
ولتحديد قيمة الضياع الضوئي في دليل الموجي مغمور القناة نقوم باستعمال طريقة FD-generic  
نتائج الضياع المتحصل عليها لمختلف الأبعاد موضحة في الشكل ( III - 12).



الشكل ( III -13) تغيرات الخسائر لدليل موجي قناة لمختلف الأبعاد بطريقة المحاكاة.

ونلاحظ أن الضياع الضوئي يتزايد، بسرعة كلما تناقصت أبعاد الدليل ويمكن أن نفسر هذا بأن اللب ذو أبعاد صغيرة جدا لا يمكن أن يحتوي أشعة الليزر المحقونة كليا ذلك أن عرض شعاع الليزر أكبر من بعد لب الدليل الموجي . ونستنتج أن كلما كان بعد الدليل أصغر كانت كمية الضياع الضوئي أكبر.

### III -6 حساب معامل الاحتواء بطريقة المحاكاة :

معامل الحصر  $\Gamma$  هو مقدار ذو أهمية كبيرة ويمكن تعريفه بأنه النسبة بين الاستطاعة الضوئية الداخلية والاستطاعة الضوئية الكلية.

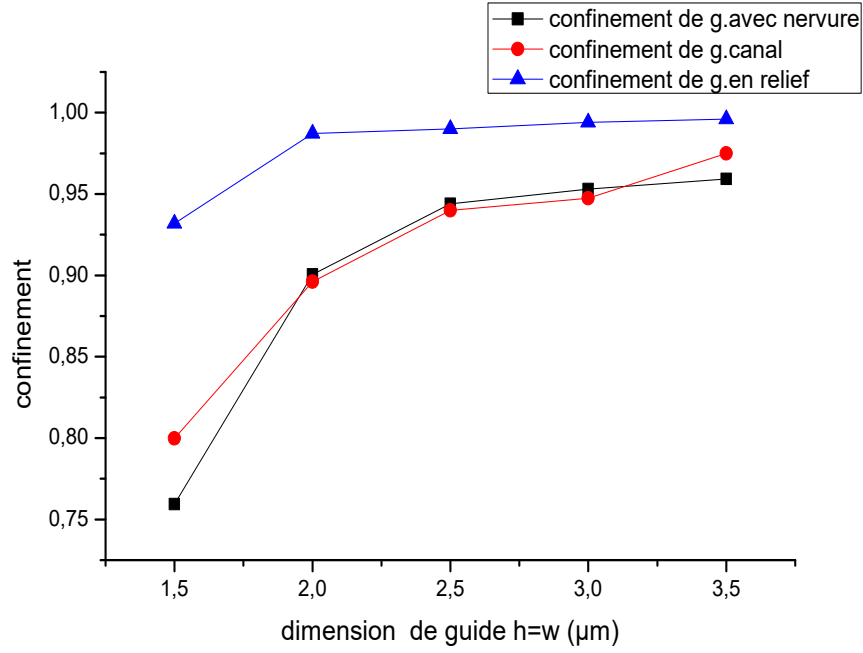
باستخدام المحاكاة نقوم بتغيير بعد اللب وفي كل مرة نقوم بحساب معامل الاحتواء الموافق لكل تغيير. ولحساب المعامل

الحصر  $\Gamma$  الموافق لكل نوع نقوم باستعمال FD-generic مع إهمال توهين المادة.

نستنتج :

يكون المعامل أعظما من أجل سمك أعظمي وهذا الأخير يوافق النمط المتعدد وفي هذه الحالة يكون الدليل قد امتص كل الطاقة , أي لا يوجد ضياع بمعنى كل الطاقة موجودة داخل قلب الدليل .

قمنا بحساب الحصر لمختلف أنواع الأدلة والنتائج المحصل عليها مدونة في الشكل ( III -14).



الشكل ( III-14) تغير معامل (أو الحجز) بدلالة بعد الدليل الموجي , من اجل مختلف الأنواع .

نلاحظ أن هناك نفس التطور والشكل للمنحنيات الثلاث التي توضح تغيرات معاملات الحصر لمختلف أنواع الأدلة الموجية . بدلالة حجم الدليل حيث وجدنا ان معامل الحصر يتزايد بزيادة بعد لب الدليل الموجي لأن أبعاد الب هذه الأدلة صغيرة وغير كافية لحصر كل الشعاع الضوئي المحقون بداخلها هذا الأخير نفترضه بشكل غاوسي (gaussienne) وذو حجم (  $5\mu\text{m}$  ) إذن يلزمنا في كل مرة زيادة في حجم لب الدليل لضمان حصر كل أشعة . ومن جهة أخرى هذه النتائج تكون متوافقة مع كمية الضياع الضوئي والتي تتناسب عكسيا مع معامل حصر الدليل وكذا حجم وأبعاد القلب حيث كلما كان معامل الحصر كبيرا كلما كانت نسبة الفقد أقل . وأخيرا بالمقارنة بين المنحنيات الثلاث ، نستنتج الدليل مغمور القناة هي البنية التي يكون فيها الفقد اصغر من اجل انتشار أحادي النمط .



# الخلاصة

وفي ختام هذه المذكرة العلمية المتعلقة بدراسة دليل موجي من مواد بوليمير في مجال الاتصالات الضوئية والتي تهدف إلى تصميم دليل موجي أحادي النمط يضمن لنا فقدا مقبولا في مجال الاتصالات الضوئية.

خلال هذه الدراسة توصلنا إلى انه :

- ❖ لا تتعلق قرينة الانكسار الفعالة بشكل الدليل الموجي فتخضع لنفس التغير مهما كان نوع الدليل
- ❖ طريقة القرينة الفعالة أدق من طريقة المحاكاة في حساب القرينة الفعالة الظاهرية لكل دليل
- ❖ لتحديد أبعاد اللب التي من أجلها تتحقق أحادية النمط نستخدم طريقتين طريقة عددية المحاكاة وطريقة تحليلية تردد القطع .
- ❖ ان معامل الحصر يساهم في تحديد قيمة الفقد الضوئي حيث كلما كان معامل الحصر صغير كلما كان الفقد الضوئي أكبر
- ❖ ومن خلال حساب معامل الحصر لمختلف أنواع الأدلة استنتجنا أن البنية التي تكون أقل فقدا للإشارة الضوئية هي دليل موجي ذو قناة مغمورة

## المخلص

في إطار عملنا تطرقنا الى اسس انتقال او انتشار الموجات في الدليل الموجي والتي تخضع لأسس الكهرومغناطيسية وقوانين ديكارت ، ثم تطرقنا الى دراسة الأدلة الموجية البوليميرية وكيف ساهمت في مجال هندسة الاتصالات الضوئية حيث أشرنا الى معايير تصميم الادلة الموجية البوليميرية ومزايا البوليميرات البصرية والكيميائية . وأنماط الانتشار .

أما في الجانب التطبيقي قمنا باختيار الثنائية البوليميرية PVC/PMATRIF التي تحقق تشكيل دليل موجي أحادي النمط الذي يتميز بخواص أهمها عرض ناطق كبير ويستخدم للمسافات الطويلة وصغر حجم اللب ثم انتقلنا الى حساب القرينة الفعالة لمختلف تشكيلات الأدلة الموجية خاصة مغمور القناة بطريقتين المحاكاة والعديدية وعلاقتها بأبعاد لب الدليل وقمنا بالمقارنة والتعليق حول النتائج المحصل عليها .

**الكلمات المفتاحية:** دليل موجي ، الثنائية البوليميرية (PVC/PMATRIF) ، أحادية النمط ، القرينة الفعالة الفقد للضوئي ، معامل الحصر .

## Abstract

In the framework of our work, we dealt with the foundations of the transmission or propagation of waves in the waveguide, which are subject to the foundations of electromagnetism and the laws of Descartes, then we dealt with the study of polymeric waveguides and how they contributed to the field of optical communication engineering, where we referred to the standards for designing polymeric waveguides and the advantages of optical and chemical polymers. And patterns of spread.

On the application side, we chose the PVC / PMATRIF polymeric diode that achieves the formation of a single-mode waveguide that is characterized by the most important properties of which are large speaking width and is used for long distances and small core size. Then we moved to compute the effective correlation of the various waveguide formations especially the submerged channel by two simulation and numerical methods and their relationship to core dimensions Evidence, we compared and commented on the results obtained.

**Key words:** waveguide, polymeric duality (PVC / PMATRIF), monomode, effective index, optical loss, coefficient of containment .

## Résumé

Dans le cadre de nos travaux, nous avons traité des fondements de la transmission ou de la propagation des ondes dans le guide d'ondes, qui sont soumis aux fondements de l'électromagnétisme et des lois de Descartes, puis nous avons traité de l'étude des guides d'ondes polymériques et de leur contribution au domaine de l'ingénierie de la communication optique, où nous avons évoqué les normes de conception de guides d'ondes polymériques et les avantages des polymères optiques et chimiques. Et les modèles de propagation.

Du côté de l'application, nous avons choisi la diode polymère PVCI / PMATRIF qui réalise la formation d'un guide d'ondes monomode qui se caractérise par les propriétés les plus importantes dont la grande largeur de parole et est utilisée pour les longues distances et la petite taille de noyau. Puis nous avons déménagé pour calculer la corrélation effective des différentes formations de guide d'ondes en particulier le canal submergé par deux méthodes de simulation et numériques et leur relation avec les dimensions du cœur Preuve, nous avons comparé et commenté les résultats obtenus.

**Mots clés:** guide d'ondes, dualité polymérique (PVCI / PMATRIF), mono modalité , indice effectif, perte optique, coefficient de confinement



## قائمة المراجع

- [1] I. VASILIEF. Guides d'onde canaux amplificateurs en verres de fluorures dopés erbium: spectroscopie et amplification optique. Université CLAUDE BERNARD - Lyon I. 2003.
- [2] A. MAALOUF. Contribution à l'étude des procédés de réalisation de circuits intégrés optiques en matériaux polymères, ENSSAT-CCLO ,19 avril 2007.
- [3] A. Yariv and P. Yeh. Optical waves in crystals. Wiley New York, 1984.
- [4] C. Vassalo, Théorie des Guides d'Ondes Electromagnétiques, Tomes 1 et 2. Editions Eyrolles, 1985.
- [5] C. CORNI. Réalisation par gravure RIBE de guides optiques en polyamide. contribution à leur caractérisation dans un modulateur électro-optique . Université de Limoges, 6 Février 2003.
- [6] Y. MOREAU, cours Télécommunications optiques .Université Montpellier II, 2001
- [7] P.A Bélanger Les fibres optiques Supplément d'électromagnétisme appliqué Université Laval, Canada 1991.
- [8] P.Lecoy, Télécoms sur fibres optiques . Université Paris 75008, Novembre 2007.
- [9] D. Sun, X. Lu, D. An, J. Taboada, L. Sun, Q. Zhou, J. Maki, S. Tang, R. T. Chang, Opt. And Lasers Technol., 30 (1998) p. 481.
- [10] Atsushi Sakai, Go Hara and Toshihiko Baba, "Propagation Characteristics of Ultrahigh-Optical Waveguide on Silicon-on-Insulator".
- [11] X. Duan, Y. Huang, Y. Cui, J. Wang, C.M. Lieber. "Indium phosphide nanowires as building blocks for nanoscale electronic and optoelectronic devices", Nature, 409, 66-69, 2001.
- [12] I. Märki, M. Salt, H.P. Herzig, „Practical and theoretical modal analysis of photonic crystal waveguides”, J. of Applied Physics, 96,7-11,(2004) .
- [13] H. Ma, A. K.-Y. Jen and L. Dalton, Advanced Materials 14, 1339 (2002).
- [14] J. Scheuer, G. T. Paloczi and A. Yariv, Appl. Phys. Lett. 87, 251102 (2005).
- [15] C. Zhang, L. R. Dalton, M.-C. Oh, H. Zhang and W. H. Steir, Chem.Mater. 13, 3043 (2001).
- [16] G. T. Paloczi, Y. Huang and A. Yariv, Electron. Lett. 39, 1650 (2003).
- [17] U. Levy, K. Campbell, A. Groisman, S. Mookherjea and Y. Fainman, Appl. Phys. Lett. 88, 111107 (2006).
- [18] [H.P. Weber, W.J. Tomlinson, E.A. Chan dross. "Organic materials for integrated optics", Optical Quantum Electronics, 7, 465-473,1975.

- [19] [H.P. Weber, W.J. Tomlinson, E.A. Chan dross, “Organic materials for integrated optics”, *Optical Quantum Electronics*, 7, 465-473,1975.
- [20] [B.L. Booth. “Low Loss Channel Waveguides in Polymers”, *J. of Light wave Technology*,7, 1445-1453, 1989.
- [21] B. L. Booth, *J. Light wave Technol.* 7, 1445 , 1989.
- [22] C. K. Madsen and J. H. Zhao, *Optical Filter Design and Analysis: A Signal Processing Approach* (Wiley-Interscience Publications, New-York, 1999.
- [23] S.E. Miller, “Integrated Optics: An Introduction”, *The Bell System Technical Journal*, vol. 48, pp. 2059–2068, 1969.
- [24] Sylvain LE TACON .Mise en œuvre et étude des techniques d’intégration de matériaux organiques en vue de la réalisation d’un modulateur électro-optique . Université de Nantes. 30 Novembre 2007.
- [25] Charles CORNIC . Réalisation par gravure RIBE de guides optiques en polyimide. Contribution à leur caractérisation dans un modulateur électro-optique . Université de Limoges ,6 Février 2003.
- [26] M ROCHA LICINIO. Microstructures électroluminescentes organiques: Applications à la gestion de l’émission lumineuse . Université PARIS 6, 28-Juin-2002.
- [27] J.C. Gàcon. Thèse de doctorat d’état, Lyon, 1978.
- [28] L.A. Riseberg, M.J. Weber. *Progress in optics*. E. Wolf, Amsterdam, 1976.
- [29] C.B. Layne, W.H. Lowdermilk. *Phys. Rev. B*, 16:10, 1977.
- [30] F.E. Auzel. *Proc. IEEE*, 61:758, 1973.
- [31] VAN DE VELDE K, THIENPONT H, VAN GEEN R. Expending the effective index method for arbitrarily shaped inhomogeneous optical waveguides. *Journal of lightwavetechnology* , 1988, vol . 6 , n° 6, pp . 1153 – 1159 .
- [32] VASSALO C . *Théorie des guides d’ondes électromagnétiques*. Tome 2. Paris, France: Eyrolles et CENT-ENST, 686 p. (collection technique et scientifique des télécommunication),1985
- [33] H. HAQUIN. Verres et guides d'ondes de FLUOROZIRCONATES DOPÉS  $\text{Er}^{+3}$  OU  $\text{Tm}^{+3}$ - application al'amplifications-. L’université de RENNES ,1. 11 Juillet 2003.
- [ 34]C.ARNAUD, étude de fonctions actives et/ou passives de base micro-résonateur à modes de galerie, Université de Rennes 1, 14 décembre 2004.
- [34] MAMANOU. A, Conception et réalisation de filtres accordables a base de micro résonateurs polymères, 2007-2008.
- [ 35] Manuel de logiciel OlympIOs.C2V Alcatel-Lucent, 2003.
- [36] K. Kawano, T. Kitho, “Introduction to optical waveguide analysis: solving Maxwell’s

equations and the Schrodinger equation'', p.118, John Wiley&Sons Inc., ISBNs: 0-471-40634-1 (hardback); 0-471-22160-0 (Electronic), Copyright ©2001