

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Sciences Appliquées
Département de Génie Electrique



Mémoire

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et technologies

Filière : Electrotechnique

Spécialité Matériau électrique

Présenté par :

BOUBEKRI Fayçal

CHIKHA AMARA Saliha

Thème:

Etude et dimensionnement d'un guide
d'onde en arête à base du matériau
(SiO_xN_y)

Soutenu publiquement

Le : 08/06/2014

Devant le jury :

M^f. Bourek yacine

M^f. Boulesbaa mohammed

M^f. Ben Alia khaled

M^{eme}. Naceur sonia

MA (A)

MA (B)

MA (B)

MA (A)

Président

Encadreur/rapporteur

Examineur

Examineur

UKM Ouargla

UKM Ouargla

UKM Ouargla

UKM Ouargla

Année universitaire 2013/2014

Remerciements

Avant de présenter ce travail, nous tenons à remercier Dieu tout puissant, de nous avoir permis d'arriver à ce niveau d'étude, et aussi pour nous avoir donné beaucoup de patience et de courage sans oublier nos parents qui n'ont lésiné sur aucun problème pour nous apporter toute l'aide nécessaire pour atteindre ce niveau qui nous permettra d'assurer notre avenir.

A travers ce travail nous tenons à présenter nos sincères remerciements et notre Profonde reconnaissance à notre aimable encadreur

***Dr. Mohammed BOULESBAA** pour son encadrement, pour sa contribution, sa patience et son aide tout au long de ce travail.*

Nous adressons également nos remerciements aux enseignants qui nous ont fait l'honneur de participer, aux jurys de ce mémoire.

*Et beaucoup remerciements de prof **M^{lle} A. Belkbir***

Merci à tous ceux et celles qui ont contribués de près ou de loin dans l'accomplissement de ce travail.

SOMMAIRE

Introduction générale

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

CHAPITRE I

Généralités sur théorie des guides d'ondes

1. Introduction.....	2
2. Réflexion totale.....	2
3. Théorie des guides d'ondes.....	3
3.1. Équations de Maxwell	3
3.2. Modes d'un guide d'onde.....	4
4. Types de guide d'onde	7
4.1. Guide d'onde planaire	7
4.2. Guide d'onde rectangulaire	8
4.3. Fibre optique	8
4.4. Guide d'onde diffuse	9
5. Matériaux pour l'optique guidée.....	9
5.1. Diélectriques	10
5.2. Semi-conducteurs (SOI)	10
6. Matériau utilisé « oxynitride de silicium ».....	12
7. Guides d'ondes bidirectionnelles.....	12
8. Influence de la géométrie sur les modes guidés	13
8.1. Guide d'onde monomode	13
8.2. Insensibilité à la polarisation.....	15
9. Fonctions des dispositifs à base de guide d'onde	16
9.1. Interconnexions optiques	16
9.2. Diviseurs de puissance.....	16
9.3. Filtres/rélecteurs.....	16
10. Conclusion	17

CHAPITRE II

Présentation générale de l'outil de simulation "BeamProp"

1-Introduction.....	18
2. Définition du logiciel	18
3. Présentation générale de l'outil de simulation "BeamProp".....	18
3.1. Lancement du logiciel	18
3.2. Fenêtre principale de BeamProp	19
3.3. Créez un nouveau circuit	20
4. Processus de fonctionnement du BeamProp.....	21
4.1. Cocher la structure	21
4.2. Choisir le moteur de simulation BeamProp.....	22
4.3. Configuration des paramètres de simulation.....	22
4.4. Lancer la simulation.....	23
4.5. Résultats accès.....	23
5. Méthode BPM (Beam Propagation Method).....	23
6. BPM grand-angulaire.....	24
7 Polarisation	26
8. Effet de taille de grilles (Δx et Δy).....	28
9. Conclusion.....	31

CHAPITRE III

Résultats et interprétation

1. Introduction	32
2. Modélisation d'un guide d'onde en arête.....	32
3. Etude de la biréfringence du guide d'onde.....	34
3.1. Répartition des champs	34
3.2. Evolution de Δn en fonction de la largeur W	36
3.2.1. Pour $H = 1.2 \mu\text{m}$	36
3.2.2. Pour $H = 1.6\mu\text{m}$	37
3.2.3. Pour $H = 2\mu\text{m}$	38
3.2.4. Pour $H = 2.3\mu\text{m}$	39

4. Etude la condition de coupure monomode/multimode du guide d'onde	40
4.1. Répartition des champs	42
4.1.1. Mode fondamentale (m=0).....	42
4.1.2. Mode 1 (m=1)	43
4.1.3 Mode 2 (m=2)	44
4.2. Détermination de la dimension de coupure monomode/multimode	44
4.2.1. Pour une géométrie de la largeur $W=1.2 \mu\text{m}$	44
4.2.2 Pour une géométrie de la largeur $W=1.4 \mu\text{m}$	45
4.2.3 Pour une géométrie de la largeur $W=1.6$	46
5. Conclusion	47

Conclusion générale perspectives

Conclusion générale.....	48
Bibliographique.....	50

Introduction générale

Introduction générale

Dans ces dernières années, le besoin pour le transfert rapide de données et information a fortement augmenté par introduction de nouvelles applications comme le réseau mondial. Aujourd'hui, le film mince de SiO_xN_y a été employé de plus en plus dans les différents dispositifs de l'optique intégré tel que guide d'onde optique [1, 2, 3]. L'utilisation de ce film dans ces dispositifs a été principalement motivée par leurs excellentes propriétés optiques, tels que : haute transparence et faible pertes de l'absorption dans la gamme de longueur d'onde du visible et proche infrarouge. De plus, l'indice de réfraction de ces films peuvent être varié facilement sur une large gamme de 1.45 (SiO_2) à 2 (Si_3N_4). Cette grande flexibilité pour choisir l'indice de réfraction ajouté à l'attractivité de ce film pour utiliser dans les dispositifs de la télécommunication tel que : la géométrie du guide d'onde optique en arête [4, 5, 6, 7].

En se basant sur les travaux de l'auteur [8], nous présentons, dans un premier temps, une investigation sur l'influence de la géométrie du guide d'onde en arête sur la biréfringence du guide. Ensuite, nous étudions la condition de coupure monomode/multimode du guide d'onde en arête à base du film de SiO_xN_y pour différentes valeur de la hauteur H , afin de limiter les pertes d'information.

Ce mémoire est structuré en trois chapitres comme suit :

Le premier chapitre sera consacré à la présentation d'une description détaillée sur les guides d'ondes tels que : la théorie de la propagation de la lumière, les différents types des guides d'ondes et les diverses applications des guides d'ondes dans l'optique d'intégré.

Dans le deuxième chapitre, nous présentons l'outil de simulation que nous avons employé dans notre travail.

Les différents résultats de simulation que nous avons trouvés avec leurs interprétations seront exposés dans le dernier chapitre.

Enfin, nous terminons ce mémoire par une conclusion générale et des perspectives.

Chapitre I :

**Généralités sur la théorie
des guides d'ondes**

Généralités sur la théorie des guides d'ondes

1. Introduction :

Nous allons présenter dans ce chapitre, dans un premier temps, les différentes lois qui gouvernent le guidage de la lumière dans un milieu confiné. Ensuite, les diverses structures des guides d'ondes optiques utilisés dans l'optique intégrée seront exposés en détail, telles que : le guide d'onde planaire, guide d'onde rectangulaire, fibre optique et le guide d'onde en arête. Enfin, une description détaillée de l'influence de la géométrie sur les ondes guidées sera présentée.

2. Réflexion totale :

La figure (I.1) illustre la réfraction et la réflexion de la lumière incidente sur une surface plane, avec différentes angles d'incidence. Le principe de la réflexion totale interne est à la base de la propagation des ondes lumineuses dans le guide d'onde. D'après ce principe, lorsqu'un rayon lumineux passe d'un milieu à un autre d'indice de réfraction plus faible, il peut être réfléchi. De plus, lorsque l'angle d'incidence du rayon lumineux est plus grand qu'un angle critique, la lumière est réfléchie en totalité et il n'y a aucune perte du signal.

Connaissant les indices de réfraction des deux matériaux de l'interface, l'angle critique peut facilement être calculé.

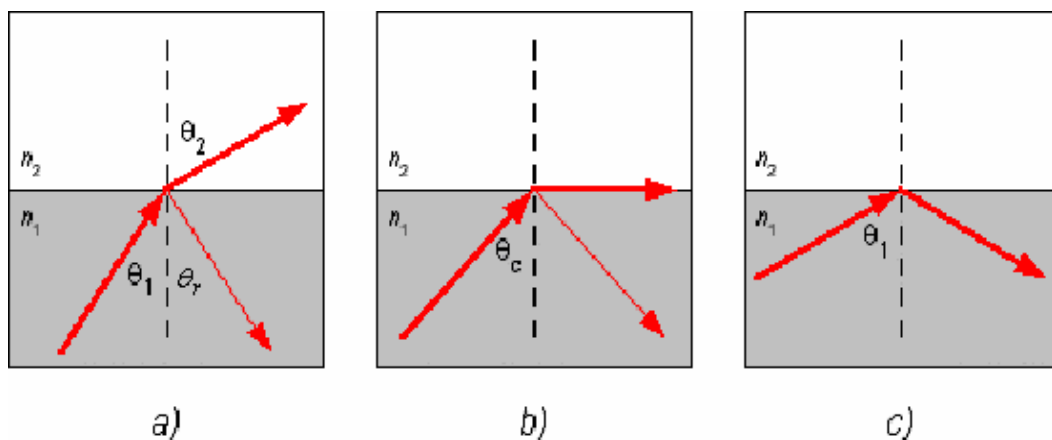


Fig. I.1 : Réfraction et réflexion d'un rayon lumineux. (a) Réfraction pour $\theta_1 < \theta_c$, le rayon incident est aussi partiellement réfléchi dans le premier milieu. (b) rayon critique lorsque $\theta_c = \theta_1$. (c) réflexion totale interne pour $\theta_c > \theta_1$.

Physiquement, l'indice de réfraction d'un matériau est le rapport entre la vitesse de la lumière dans le vide (c) et sa vitesse dans le matériau (v).

$$n = \frac{c}{v} \quad (\text{I.1})$$

Les lois de Snell-Descartes, issues des conditions de passage, imposent :

$$\theta_1 = \theta_r \quad (\text{I.2})$$

$$n_1 \sin(\theta_1) = n_2 \sin(\theta_2) \quad (\text{I.3})$$

La réflexion totale est définie pour $\theta_2 = 90^\circ$, on peut constater que la valeur critique θ_c de θ_1 est :

$$\theta_c = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right) \quad (\text{I.4})$$

La réflexion totale est donc obtenue pour la condition suivante :

$$\theta_c \leq \theta_1 \leq \pi/2 \quad (\text{I.5})$$

3. Théorie des guides d'ondes :

Les guides d'onde optiques sont des guides diélectriques qui confinent et guident la lumière. Les guides d'onde diélectriques sont basés sur le principe de la réflexion interne totale où le signal est confiné optiquement pour une région de haut indice de réfraction entouré par un revêtement de l'indice de réfraction inférieur. Récemment, le guide d'onde emploie généralement des géométries planaires de dimensions nanométriques et de matériau qui permettent des fonctions de type couplage, modulation, multiplexage, amplification, etc.

Ces guides sont associés aux fibres optiques de structure cylindrique dont la fonction principale est la transmission de l'information.

3.1. Équations de Maxwell :

La propagation de la lumière est un phénomène électromagnétique qui est gouvernée par les équations de Maxwell [9].

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (\text{I.6})$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (\text{I.7})$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{D} = \rho \quad (\text{I.8})$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = 0 \quad (\text{I.9})$$

\vec{E} est l'intensité du champ électrique, \vec{H} l'intensité du champ magnétique, \vec{B} est l'induction magnétique, \vec{D} est le déplacement électrique, \vec{J} est la densité du courant électrique et ρ la densité de charge. \vec{D} , \vec{B} et \vec{J} sont définis par :

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E} \quad (\text{I.10})$$

$$\vec{D} = \mu \vec{H} \quad (\text{I.11})$$

$$\vec{D} = \partial \vec{E} \quad (\text{I.12})$$

La permittivité ϵ du milieu est représentée par l'équation : $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$ avec ϵ_0 la permittivité de l'espace libre et ϵ_r la permittivité relative du milieu. La perméabilité magnétique μ du milieu est donnée par $\mu = \mu_0 \mu_r$ avec μ_0 la perméabilité de l'espace et μ_r est la perméabilité relative du milieu. Dans le cas d'un guide d'onde diélectrique, μ_r est généralement considéré pour avoir une valeur d'unité, qui implique la continuité du champ magnétique à travers la limite. La conductivité σ du milieu est généralement considérée nulle d'ici J sera supposé également nulle.

3.2. Modes d'un guide d'onde :

En fonction de la polarisation, l'onde électromagnétique peut être classifiée en deux modes : le mode transverse électrique (TE) et le mode transverse magnétique (TM). Dans le cas d'un guide de mode TE, le champ électrique n'existe pas dans la direction de propagation de l'onde ($E_z=0$), de même pour le guide de mode TM, le champ magnétique n'existe pas dans la direction de propagation de l'onde ($H_z=0$).

La figure (I.2) représente le diagramme d'un matériau de trois couches avec différents indices de réfraction [10], afin de déterminer la dispersion des deux modes TE et

TM. Pour guider la lumière, des conditions doit être respecter : comme la différence entre les indices de réfraction les matériaux du film guidant et la couverture et du substrat doit être suffisamment élevée pour préserver les conditions de réflexion totale.

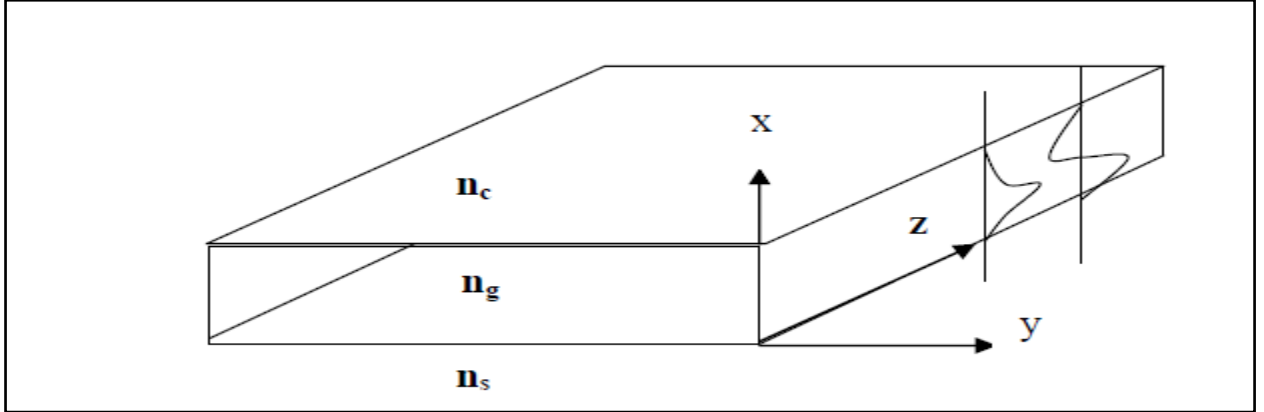


Fig. I.2: Diagramme d'un matériau de trois couches avec différents indices de réfraction [10].

A partir de la résolution des équations de Maxwell, l'équation d'onde de chacun de ces modes s'écrit [9], [10] :

Pour le mode transverse électrique (TE) :

$$\frac{\partial^2 E_y}{\partial x^2} + (n^2 k^2 - \beta^2) E_y = 0 \quad (\text{I.13})$$

Pour le mode transverse magnétique (TM) :

$$\frac{\partial^2 H_y}{\partial x^2} + (n^2 k^2 - \beta^2) H_y = 0 \quad (\text{I.14})$$

Les solutions de ces équations sont des ondes planes, se déplaçant à la vitesse v , déterminée par la constante diélectrique ϵ et la permittivité magnétique μ du matériau :

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}} = \frac{cl}{\epsilon_r \mu_r} = \frac{c}{n} \quad (\text{I.15})$$

Où c est la vitesse de la lumière dans le vide, et n l'indice de réfraction du milieu. On peut alors réécrire les équations (I.15) et (I.16) comme suit :

La résolution de l'équation d'onde montre que le champ a une répartition transverse oscillatoire dans le film mince est évanescente ailleurs [4]:

$$E_y(x) = A \exp\left(x\sqrt{\beta^2 - k^2 n_c^2}\right) \quad x \leq 0 \quad (\text{I.16})$$

$$E_y(x) = B \cos\left(x\sqrt{k^2 n_g^2 - \beta^2}\right) \quad 0 \leq x \leq h \quad (\text{I.17})$$

$$E_y(x) = c \exp\left(-(x-h)\sqrt{\beta^2 - k^2 n_s^2}\right) \quad x \geq h \quad (\text{I.18})$$

A partir de ces équations, il est possible de retrouver les équations de dispersion des deux modes TE et TM [4]:

Pour le mode TE:

$$d \sqrt{k^2 n_g^2 - \beta_{TE}^2} - \arctan\left[\frac{\beta_{TE}^2 - k^2 n_c^2}{k^2 n_g^2 - \beta_{TE}^2}\right] - \arctan\left[\frac{\beta_{TE}^2 - k^2 n_s^2}{k^2 n_g^2 - \beta_{TE}^2}\right] = m\pi \quad (\text{I.19})$$

Pour le mode TM :

$$d \sqrt{k^2 n_g^2 - \beta_{TM}^2} - \arctan\left[\frac{n_g^2}{n_c^2} \sqrt{\frac{\beta_{TE}^2 - k^2 n_c^2}{k^2 n_g^2 - \beta_{TE}^2}}\right] - \arctan\left[\frac{n_g^2}{n_s^2} \sqrt{\frac{\beta_{TE}^2 - k^2 n_s^2}{k^2 n_g^2 - \beta_{TE}^2}}\right] = m\pi \quad (\text{I.20})$$

Où : d est l'épaisseur de la couche guidante et n_g son indice de réfraction, β_{TE} et β_{TM} sont les constantes de propagation des ondes TE et TM respectivement, k est le nombre d'onde, $k=2\pi/\lambda$ (λ : longueur d'onde), n_c et n_s sont les indices de réfraction du superstrat ou couverture et du substrat et m est le numéro du mode. Ces équations peuvent être résolues par différentes méthodes analytiques ou numériques ou bien directement par des simulateurs appropriés. Les formules (I.13) et (I.14) montrent que la constante de propagation ne peut prendre que des valeurs décrites parce que m est un entier. A une valeur de m correspond une seule valeur effective de β_m , donc un seul mode TE. Tout se passe comme si l'indice de la couche guidante vu par le mode est : $n_{\text{eff}} = \beta_m/k_0$ que l'on appelle l'indice effectif.

Pour chaque valeur de m, il existe une valeur minimale de d, appelée épaisseur de coupure est notée d_c^m (K, correspond à l'apparition du mode m guidé.

Si $d < d_c^0$ (L les équations (I.13) et (I.14) n'ont pas de solution et le guide ne permet pas la propagation de la lumière.

Si $(d_c^0 < d < d_c^1)$ les équations (I.13) et (I.14) ont de solution et le guide est monomode.

Si $(d_c^1 < d < d_c^2)$ le guide est bimode.

4. Types de guide d'onde :

4.1. Guide d'onde planaire :

Le guide d'onde plan est un empilement de trois couches de matériaux d'indices de réfraction différents figure (I.3). La lumière se propage préférentiellement dans la couche d'indice de réfraction n_g si celle-ci est entourée de deux couches : une couche inférieure de substrat d'indice de réfraction n_s et une couche supérieure de couverture d'indice de réfraction n_c . La lumière est confinée selon l'axe vertical (x) et se propage dans la direction (z). De fait de l'invariance de cette structure dans la direction (y), la lumière ne peut être confinée dans cette direction [11].

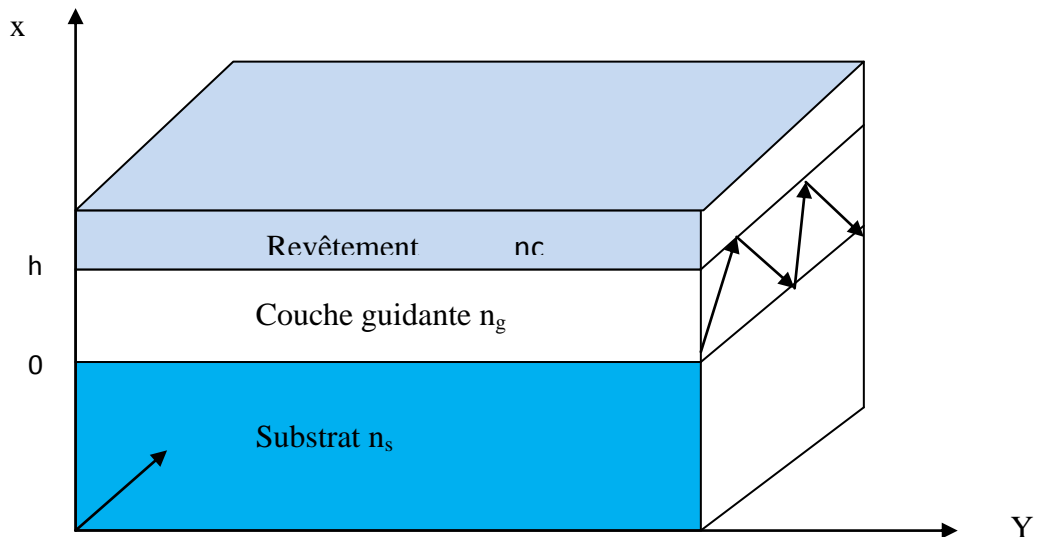


Fig. I.3 : Représentation graphique d'un guide d'onde planaire [11].

4.2. Guide d'onde rectangulaire :

Le guide d'onde rectangulaire est constitué de quatre parois conductrices (généralement parfaits) comme illustré sur la figure (I.4). Donc, ce type de guide d'onde possède une section conductrice fermée, donnant la forme d'un conducteur simple et creux.

Le guide d'onde rectangulaire est définie transversalement (selon x) par la largeur a et verticalement (selon y) par l'épaisseur b . Un diélectrique-souvent de l'air-remplit l'intérieur du conducteur creux. La lumière se déplace dans le diélectrique, mais il est confiné dans l'espace par les quatre parois conductrices. L'axe (z) définit toujours la direction de la propagation [13].

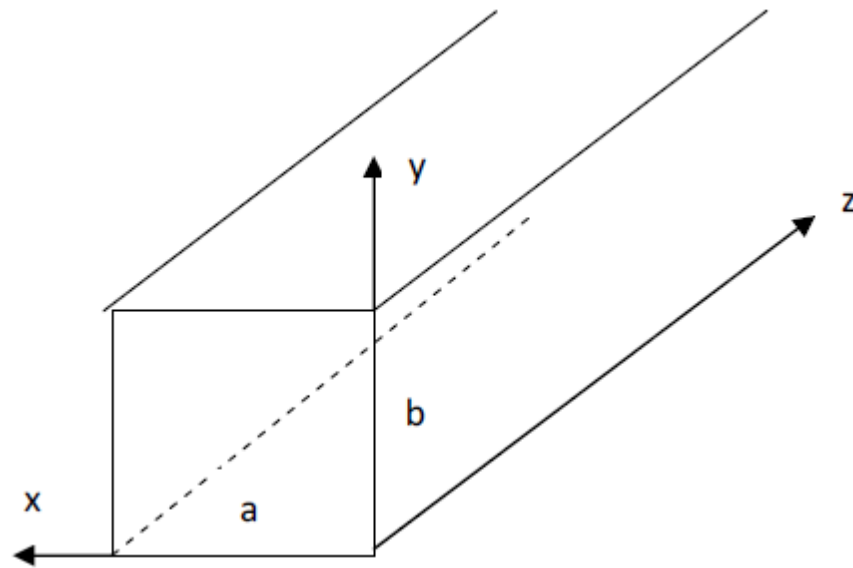


Fig. I.4 : Représentation graphique d'un guide d'onde rectangulaire [13].

4.3. Fibre optique :

Une fibre optique est un guide d'onde optique à symétrie circulaire telle que schématisée sur la figure (I.5). Ce guide est constitué de deux ou plusieurs couches de matériaux diélectriques transparents (verre de silice ou plastique) d'indices de réfraction différents assurant le confinement de la lumière au voisinage du centre. Elle présente des meilleures qualités de transmissions et elle permet de faire passer un très grand nombre d'information (large bande passante). On peut avoir plusieurs canaux de transmission simultanément sur une fibre [13].

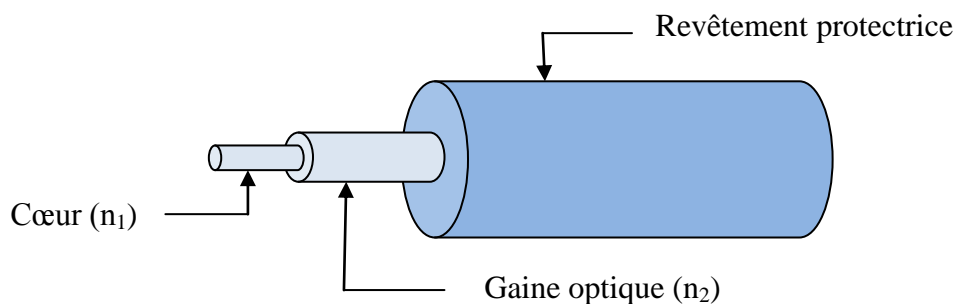


Fig. I.5 : Représentation graphique d'une fibre optique [13].

Une fibre optique est un fil en verre ou en plastique très fin qui a la propriété d'être un conducteur de la lumière et sert dans la transmission de données et de lumière. Elle offre un débit d'information nettement supérieur à celui des câbles coaxiaux et supporte un réseau « large bande » par lequel peuvent transiter aussi bien la télévision, le téléphone, la visio conférence ou les données informatiques. Le principe de la fibre optique a été développé au cours des années 1970 dans les laboratoires de l'entreprise américaine Corning Glass Works (actuelle Corning Incorporated).

4.4. Guide d'onde diffuse :

Nous représentons sur la figure (I.6) le schéma de principe d'un guide d'onde de type diffusé. Ce type de guide définit par une région de substrat semi-infinie $y < 0$ d'indice de réfraction n_0 , une petite couche enfoncée dans le substrat d'indice de réfraction $n_0 + \Delta n$ et une région supérieur de couverture semi-infinie $y > 0$ d'indice de réfraction n_c [14].

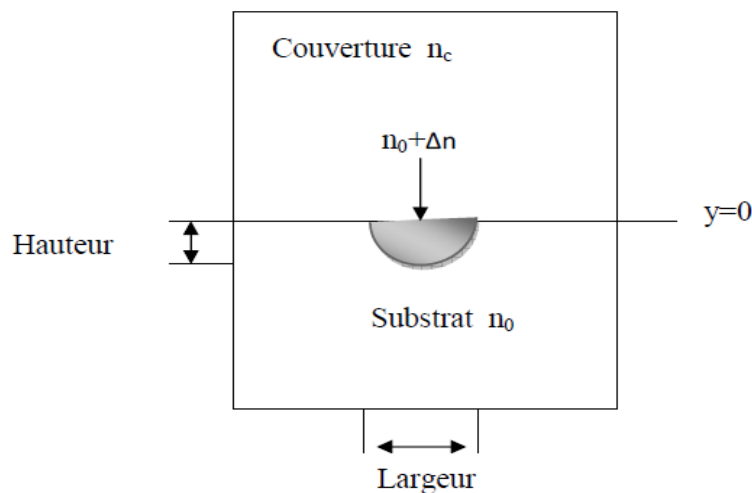


Fig. I.6 : Représentation graphique d'un guide d'onde diffusé [14].

5. Matériaux pour l'optique guidée :

Divers types des matériaux peuvent être utilisée pour guider la lumière. Parmi les critères de sélection, on trouve :

A/ L'atténuation de la lumière guidée se propageant dans un matériau donné : Elle doit être la plus faible possible.

B/ Le degré de confinement exprimé par la différence Δn entre l'indice de réfraction de la couche guidante et les indices des couches de confinement : Chacun de ces guides, à

faible ou à fort Δn , possède des avantages et des inconvénients en terme de pertes de propagation ou de pertes par couplage à travers les couches de confinement. Les guides monomodes à faible valeur de Δn sont bien adaptés pour le couplage guide-fibre optique. Les guides à fort Δn permettent quant à eux la réalisation de guides courbés à faible rayon de courbure, ce type de guide peut être utilisé pour établir des connexions optiques dans les circuits intégrés à haute densité d'intégration. [12]

On présente rapidement dans ce paragraphe les principaux matériaux de base pour l'optique intégrée, à savoir les diélectriques et les semi-conducteurs.

5.1. Diélectriques :

Les diélectriques (SiO_2 , Si_3N_4 , SiO_xN_y) déposés sur silicium permettent de réaliser des guides optiques à faibles pertes de propagation. Selon la nature de la couche guidante, on peut avoir une faible différence d'indice et ainsi conserver des guides épais tout en conservant le caractère monomode. Par contre, on peut par exemple déposer une couche de nitrure de silicium ($n_g=2$) sur la silice ($n_s=1.5$) et assurer un fort Δn .

Cependant, les diélectriques ont le désavantage de ne conduire qu'à la réalisation de composants passifs. Il est vrai qu'une perturbation des indices de réfraction d'origine thermique peut les rendre actifs mais en pratique les temps de réponse restent longs (de l'ordre de la ms).

5.2. Semi-conducteurs (SOI) :

Dans la famille des semi-conducteurs, le silicium, qui est l'élément incontournable de la microélectronique, prend une importance croissante en optoélectronique dans la mesure où on essaye de profiter de son faible coût et de sa maîtrise technologique en microélectronique, en même temps que de ses propriétés physique et électronique [12,14].

Une solution envisageable pour l'optique intégrée qui constitue la base des composants étudiés dans ce mémoire, est le silicium sur isolant, communément appelé SOI (Silicon-On-Insulator). Le substrat SOI est constitué d'un substrat de silicium, d'une couche de silice enterrée sous une couche de silicium cristallin formant un guide d'onde naturel aux longueurs d'onde des télécommunications optiques figure (I,7) :

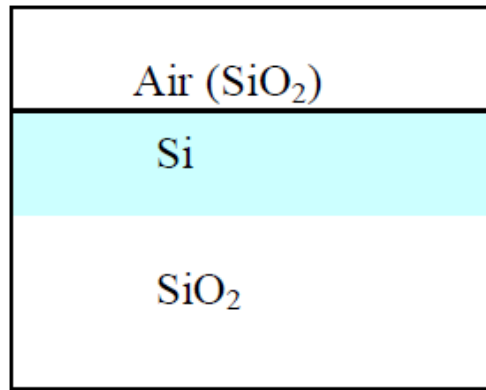


Fig .I.8. La couche de silicium cristallin formant de guide d'onde

Le film de silicium d'indice $n_{Si} = 3.47564$ à la longueur d'onde $\lambda = 1.55 \mu\text{m}$, est situé entre la couche de silice enterrée d'indice $n_{SiO_2} = 1.44404$ à la même longueur d'onde et l'air d'indice

$n_{air} = 1$ ou une couche de silice de passivation (n_{SiO_2}). Le film de silicium apparaît donc comme la couche active de la structure.

La grande différence d'indice entre la silice de passivation (ou l'air) et le silicium assure un très fort confinement du champ électromagnétique dans la zone de haut indice, ce qui permet de diminuer les dimensions latérales du guide jusqu'à des dimensions submicroniques, en utilisant les technologies classiques développées en microélectronique.

On peut aussi concevoir de la même façon des virages de faible rayon de courbure, c'est à dire de quelques microns.

Le SOI permet donc l'intégration monolithique de fonctions électriques et optiques sur un même substrat et avec une grande densité d'intégration. La technologie SOI a ouvert la voie à la réalisation de circuits optiques intégrés sur silicium de meilleure qualité optique et de faible coût de fabrication. [14]

Le tableau (I.1) représente quelques types des matériaux utilisés dans l'optique guidée avec leurs propriétés, techniques de fabrication et domaines d'application.

Matériaux	Propriétés	Fabrication	Avantages	Application
SiO ₂ : Si		Oxydation thermique, CVD, FHD.		Dispositifs passive (Coupleurs, MUX) Capteurs, Filtres
Lithium	Electro-optique Acousto-optique Non-linéaire.	Diffusion métallique, Proton exchange		Interrupteurs, Modulateurs

niobate	Biréfringence			
III-V composants (InP GaAs)	Electro-optique	Growth Epitaxie	Haute niveau d'intégration	Détecteurs
Polymère	Electro-optique Thermo-optique		Large gamme des propriétés physiques	Capteurs

6. Matériau utilisé "oxynitride de silicium":

Les oxynitrides de silicium (SiO_xN_y) ont été préparés en remplacement du nitrure de silicium (Si_3N_4) dans le but d'obtenir des matériaux avec de plus faibles contraintes, une meilleure stabilité thermique et une meilleure résistance à la fissuration tout en conservant une haute barrière à la diffusion aux impuretés.

Grâce à leur grande variation de composition entre le nitrure et l'oxyde de silicium, ces matériaux sont utilisés dans plusieurs domaines. Avec leur variation importante d'indice de réfraction selon la composition, ils sont de bons candidats pour la réalisation des couches antireflet, des miroirs à haute réflectivité et des guides d'ondes. En microélectronique, ils sont utilisés comme isolants intermétalliques et isolants de passivation. On envisage aussi qu'ils puissent remplacer l'oxyde de silicium en tant que diélectrique de grille dans les structures de type MOS (Metal Oxide Semiconductor) et la réalisation de transistors à effet de champ (FET pour Field Effect Transistor). Les couches minces d'oxynitride de silicium à faibles contraintes mécaniques auront certainement un rôle important à jouer dans les technologies d'intégration tridimensionnelle dont les différentes étapes devront se faire à température modérée pour dégrader le moins possible les différents niveaux du dispositif [15]. Dans notre travail, nous exploitons les films minces de SiO_xN_y comme un guide d'onde dans l'optique intégré.

7. Guides d'ondes bidirectionnelles :

Un guide d'onde plan présente généralement peu d'intérêt en optique intégrée car la lumière diverge transversalement lors de sa propagation. Il restreint le mode latéralement d'où la réalisation des guides à deux dimensions.

Avec la technologie actuelle, il est aisé de réaliser un confinement latéral en utilisant un guide bidirectionnel. On appelle un guide bidimensionnel un guide d'onde de section constante invariante en z et dont la permittivité varie dans la section. Les modes TE et TM n'existent pas absens strict pour un guide d'onde bidirectionnel. Néanmoins il y a toujours deux familles des olutions qu'on désigne par les termes quasi-TE et quasi-TM. Les premières

ont la composante majoritaire du champ électrique parallèle au substrat, et les secondes ont la composante majoritaire du champ magnétique parallèle au substrat.

On peut distinguer deux types de guides bidirectionnels :

A/ Un guide d'onde ruban :

C'est un guide de silicium (Si) enterré dans de la silice (SiO₂). Il est obtenu par une gravure totale du film de silicium autour d'une bande définissant la dimension latérale du guide. figure I-8 (a)

B/ Un guide d'onde en arête :

il est obtenu par une gravure partielle du film de silicium révélant une partie du guide rectangulaire figure I-8 (b)

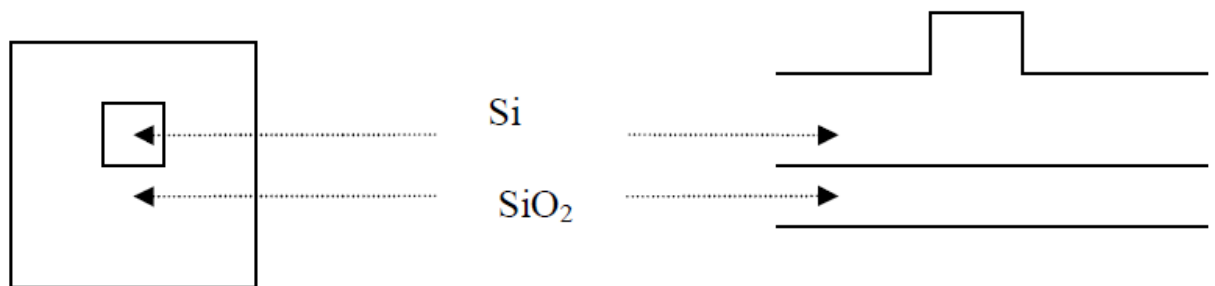


Fig .I.8. Les guides d'onde en ruban et en arête

8. Influence de la géométrie sur les modes guidés :

Les deux caractères recherchés pour les guides bidimensionnels sont d'une part, le caractère monomode qui limite les pertes de propagation et d'autre part leur insensibilité à la polarisation [14].

8.1. Guide d'onde monomode :

Si le guide est multi mode, il y a plusieurs groupes de rayons, appelés « modes propres du guide » qui se propagent avec des vitesses variables dans le guide, c'est pour cela qu'on cherche fabriquer un guide monomode, où un seul mode de propagation est excité par la lumière. Pour obtenir le caractère monomode, certaines conditions sont à respecter, et la différence d'indice entre les matériaux du film et ceux de couverture et de substrat doit être suffisamment élevée pour préserver les conditions de réflexion totale.

La géométrie du guide d'onde en arête est la suivante figure (I.9) :

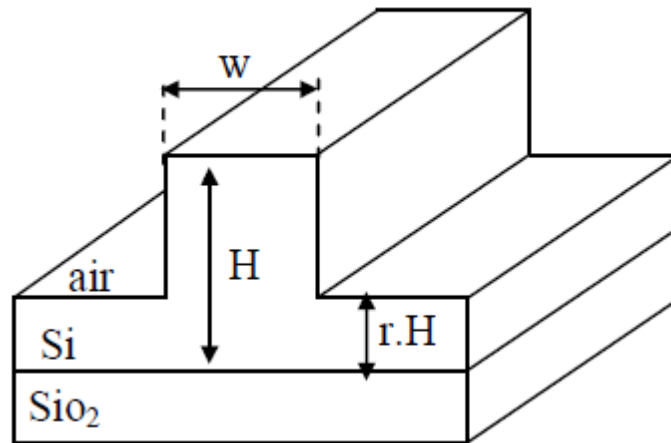


Fig. I.9 Géométrie du guide d'onde en arête

Où :

W : est la largeur du guide.

H : est la hauteur du guide

r : Le paramètre de gravure qui correspond au rapport entre l'épaisseur de l'arête déterminant le confinement latéral et l'épaisseur du guide.

D'après Soref et al. [13], les conditions concernant les dimensions physiques du guide pour qu'il soit monomode sont données par :

$$\frac{W}{H} \leq 0.3 + \frac{r}{\sqrt{1-r^2}} \quad \text{et } 0.5 \leq r \quad (\text{I.21})$$

Ce qui conduit à l'égalité :

$$\frac{W_m}{H} = 0.3 + \frac{r}{\sqrt{1-r^2}} \quad \text{et } 0.5 \leq r \quad (\text{I.22})$$

Où W_m représente la largeur minimum de l'arête.

Cette formule a été établie pour des "grands" guides de l'ordre de plusieurs microns de hauteur et dont la seule contrainte est d'être monomode.

Les cas où le paramètre de gravure r est inférieur à 0,5 n'ont pas été étudiés.

Des études ont montré que les conditions liées à l'équation (I.19) ne sont pas strictes et qu'il est possible de ne pas les respecter tout en conservant les objectifs fixés, c'est-à-dire d'avoir un guide d'onde monomode et insensible à la polarisation. D'après les résultats de ces

études, il y a des guides monomodes et insensible à la polarisation qui ont des paramètres de gravure voisins de $r = 0.4$ et $w = 1\mu\text{m}$ pour $H = 1.5\mu\text{m}$, la hauteur standard de silicium fabriqué parla SOITEC est fixée à cette valeur. [9], [11]

8.2. Insensibilité à la polarisation :

a- Différentes polarisations d'une onde électromagnétique :

Il existe deux polarisations pour une onde se propageant dans la direction x :

- La polarisation TE (composante du champ E_z nulle), la seule composante du champ électrique non nulle se situe dans le plan transverse (E_y).

- La polarisation TM si la composante du champ axial H_z est nulle, puisque le champ magnétique a seulement une composante transverse.

b- Notion d'indice effectif et d'indice de groupe :

L'indice effectif n_{eff} représente la valeur de l'indice de réfraction d'un matériau uniforme pour que les ondes s'y propagent avec la même vitesse de phase que dans le guide. C'est en fait un résumé du guide qui tient compte des indices des différents matériaux et de la forme du guide pour chaque longueur d'onde et chaque mode de propagation.

L'indice de groupe n_g représente l'indice de propagation de la superposition d'ondes se propageant dans une impulsion lumineuse, non purement monochromatique, dont les longueurs d'onde sont situées autour d'une longueur d'onde centrale. Il est donné par :

$$n_g = n_{eff} - \lambda \frac{\partial n_{eff}}{\partial \lambda} \quad (\text{I.23})$$

Où λ est la longueur d'onde à laquelle est étudié l'indice effectif n_{eff} .

c- Biréfringence d'indice effectif et d'indice de groupe :

S'il y a deux modes TE et TM qui se propagent dans le même guide d'ondes, en générales indices effectifs de ces deux modes sont différents. Cette différence d'indice $Dn_{eff} = n_{TE} - n_{TM}$ est appelée biréfringence. Elle peut être d'indice de groupe ou d'indice effectif suivant l'indice étudié. Si $Dn_{eff} = 0$ on peut conclure que la polarisation n'a pas d'influence sur la propagation; le guide est dit insensible à la polarisation [9], [11].

Plus la valeur de la biréfringence est élevée plus les vitesses de propagation de ces modes sont différentes. Il y a alors un étalement temporel de l'impulsion lumineuse avec la

distance, parcourue par le paquet d'ondes. Il y a donc une limitation du débit d'information car cette modification temporelle du signal peut entraîner une superposition de différentes impulsions et une perte totale de l'information.

9. Fonctions des dispositifs à base de guide d'onde :

Comme déjà mentionnés préalablement, tous les types des guides d'ondes réalisent la même tâche laquelle confinés et guidés la lumière au sien d'un processus de block ou dispositif. A part la fonction principale de confiner et guider la lumière, ils existent plusieurs d'autres éléments tâches ou fonctions de base que peuvent réalisent par les guides d'onde comme.

9.1. Interconnexions optiques :

Comme l'indique son nom, ils servent à connecter optiquement deux points /éléments sur une puce optique. S'il existe un décalage nécessaire entre les deux points c'est-à-dire les deux éléments ne sont pas alignés les uns aux autres, donc, des guides d'ondes de forme S-Bend seraient utilisés. Dans notre travail, on s'intéresse des guides d'ondes de forme canal.

9.2. Diviseurs de puissance :

Ces dispositifs utilisés pour diviser la puissance à partir d'un guide d'onde à seul canal entre deux en sortie du guide. La forme la plus simple de ces élément est communément appelé **Y-Diviseur (Y-branch)** à cause de leur forme **Y** distincte. Une extension de ce dispositif aurait plus que deux branches de sortie et comme le terme 1xN diviseur qui était adopté pour générer N nombre de branche en sortie du guide d'onde. Ils existent d'autre similaire dispositifs effectuent la même fonction tels que : les coupleurs de forme **X**.

9.3. Filtres/réfecteurs :

Ces dispositifs permettent également d'effectuer la tâche de réflexion de la lumière dans un guide d'onde de forme canal. Si la bande passante d'un tel réflecteur est d'une longueur d'onde particulière, cela pourrait aussi être considéré comme le rôle d'un filtre. La mise en œuvre la plus simple de cela est réalisée à l'aide d'un miroir. Cependant, une technique plus attractive et largement utilisée consiste à utiliser un réseau (grating), lequel naturellement est un élément de sélection de longueur d'onde.

10. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différentes lois qui gouvernent la lumière dans les milieux confinés. Ensuite, les diverses structure des guides d'ondes a été exposée. Puis, l'influence de la géométrie sur les modes guidés tels que : la biréfringence et les conditions de coupure monomode/multimode a été décrit en détail. Enfin, nous avons présenté quelques fonctions et tâches réalisés par les guides d'ondes.

Chapitre II :

Présentation de l'outil de simulation "BeamProp"

Présentation de l'outil de simulation "BeamProp"

1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons présenter une description détaillée du logiciel de simulation que nous avons employée dans notre travail à savoir : BeamPROP de Rsoft. On va utiliser ce logiciel pour modéliser et analyser la structure du guide d'onde en arête à base de matériau SiO_xN_y .

2. Définition du logiciel :

Le simulateur BeamProp est le module de propagation intégré avec RSoft Photonics CAD SUITE, c'est un nouvel outil pour simuler la propagation optique dans les guides d'ondes à 2D et 3D. Au cœur du BeamProp -3D il y a un programme de calcul extrêmement robuste capable de trouver les solutions rigoureuses des équations d'ondes de Maxwell, des solutions qui sont complètement vectorielles et entièrement bidirectionnelles, tenant compte de toutes les réflexions aux joints à l'interface des différents composants du dispositif, car l'algorithme bidirectionnel modélise toutes les réflexions internes [14].

3. Présentation générale de l'outil de simulation "BeamProp" :

3.1. Lancement du logiciel :

Le simulateur BeamProp peut être lancé soit par l'interface graphique utilisateur (GUI) ou une interface de ligne de commande. Ces deux méthodes sont tout aussi puissantes, et sont utiles dans des circonstances différentes. Utilisateurs débutants sont encouragés à utiliser BeamProp via l'interface graphique afin de comprendre l'utilisation du programme. Les utilisateurs avancés qui avec d'incorporer dans les opérations BeamProp scripts / batch sont encouragés à utiliser les fonctions de script de BeamProp.

3.2. Fenêtre principale de BeamProp :

La figure (II.1) montre la fenêtre principale de logiciel de simulation BeamProp. Dans cette fenêtre, on trouve une barre de menu en haut de la fenêtre, une barre d'outils avec des icônes juste en dessous, une autre barre d'outils sur le bord gauche de la fenêtre, et une ligne d'état au bas de la fenêtre. Les menus permettent d'accéder aux différentes opérations de fichiers et édition standard telles que l'ouverture et l'enregistrement des fichiers d'index et de coupe et de composants de guide d'ondes coller dans un circuit. La barre d'outils supérieure contient des icônes pour ces opérations sur les fichiers et l'édition standard, ainsi que d'autres fonctions communes. La barre d'outils à gauche contient des icônes pour les opérations de CAD standard tels que la sélection et le zoom, ainsi que des icônes pour choisir les différents composants de guide d'ondes qui peuvent être ajoutés au circuit. Des icônes supplémentaires contrôlent la simulation et les aspects connexes du programme. L'aligne d'état fournit des informations sur le mode de présentation courante, avec l'affichage des coordonnées lors de l'emboutissage [14].

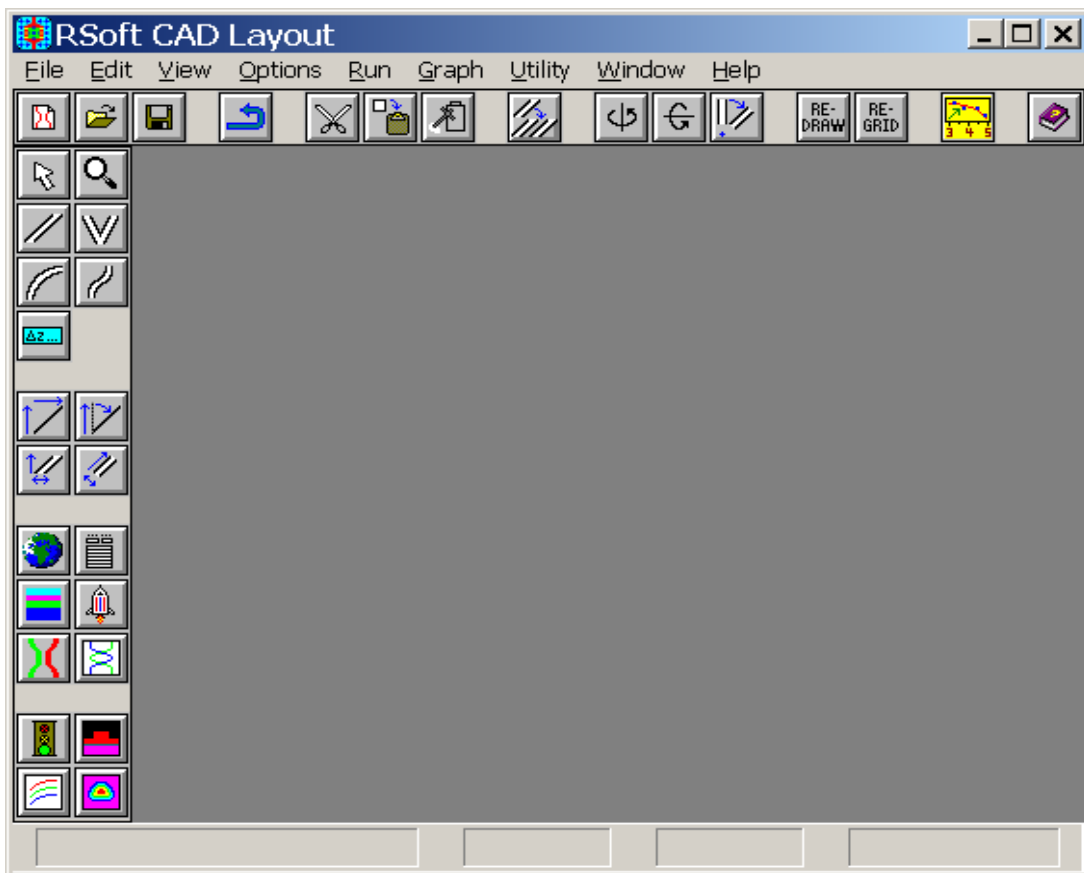


Fig. II.1: Fenêtre du programme de CAD principal, montrant la barre de menu en haut, les barres d'outils en haut et à gauche, et la ligne d'état en bas.

3.3. Créez un nouveau circuit :

Pour créer un nouveau circuit, cliquez sur l'icône Nouveau circuit dans la barre d'outils (l'icône la plus à gauche sur le dessus). Sinon, choisissez Fichier / Nouveau dans le menu (c.-cliquez sur l'élément de menu de niveau supérieur nommé Fichier et sélectionnez Nouveau dans le sous-menu à partir du fichier). La boîte de dialogue de démarrage apparaît, comme illustré à la figure (II.2). Cette boîte de dialogue demande des informations de base sur le circuit à modéliser, y compris la longueur d'onde de la lumière, le fond de l'indice de réfraction, la variation d'indice entre le cœur et la gaine, et les dimensions globales approximatives du dispositif. Pour activer une simulation BeamProp Entrez les informations indiquées sur la figure (II.2), et cliquez sur OK pour continuer [14].

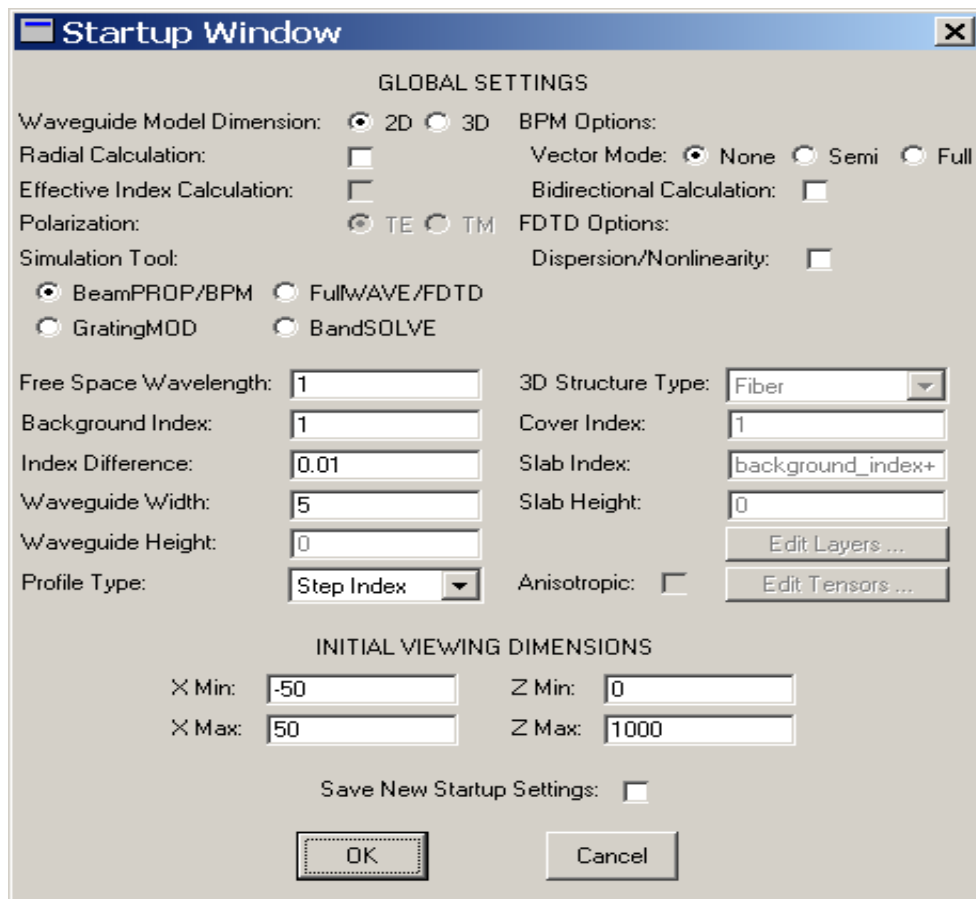


Fig. II.2 : Boîte de dialogue de démarrage qui apparaît chaque fois qu'un nouveau circuit est créé, et demande des renseignements de base sur le circuit à modéliser.

À ce stade, une fenêtre de présentation est créée à l'intérieur de la fenêtre du programme principal, comme le montre la figure (II.3). Une grossière de coordonnées de grille est indiquée par des points, et les axes X et Z sont indiquées par des lignes en gris clair. Notez que X représente la direction transversale et est tirée à l'horizontale, et Z représente la direction longitudinale ou de propagation et est tiré verticalement. Lorsque la souris est

déplacée dans la fenêtre de mise en page, le curseur devient une croix, et l'affichage des coordonnées dans la ligne d'état indique la position de la souris en coordonnées réelles [μm].

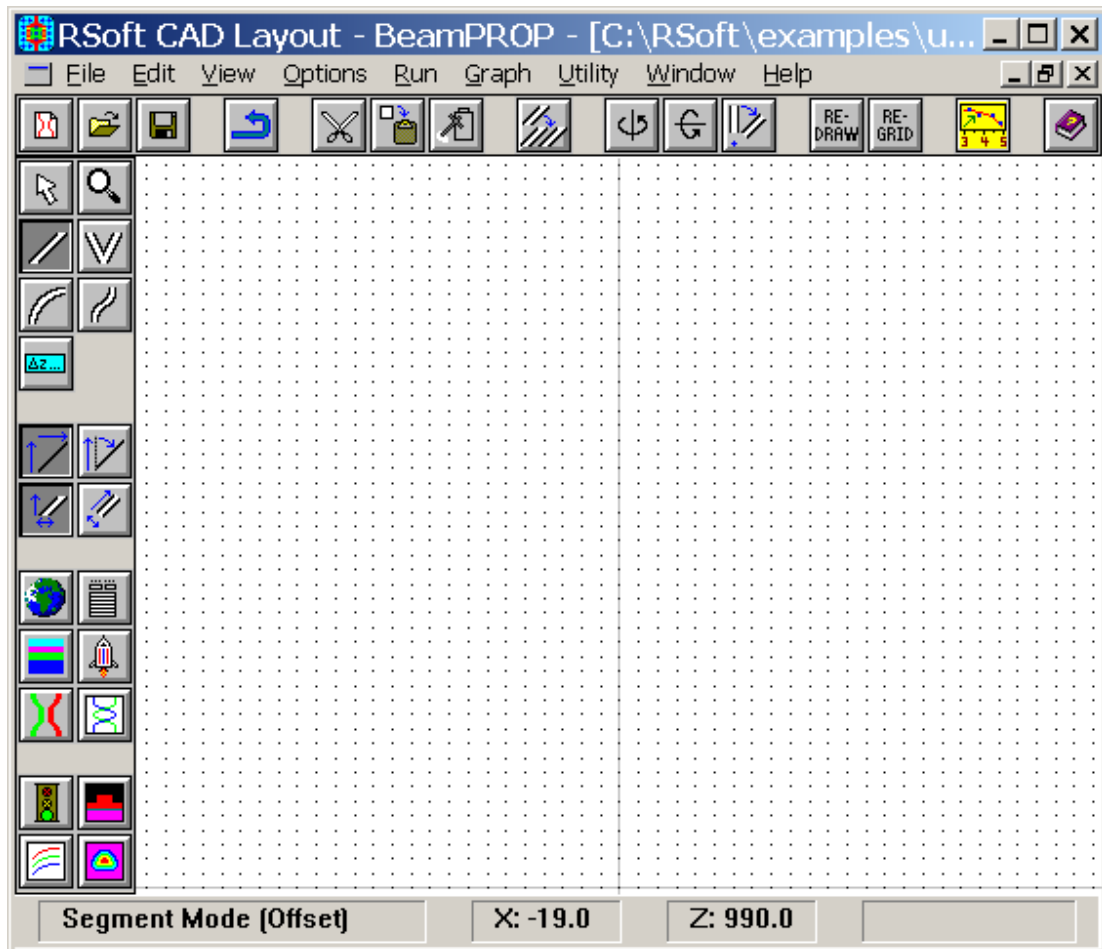


Fig. II.3 : Illustration de la fenêtre de mise en page où les composants de guide d'ondes sont ajoutés au circuit. Les axes X et Z sont indiqués par des lignes en gris clair, et sont attirés horizontalement et verticalement, respectivement.

4. Processus de fonctionnement du BeamProp :

Le fonctionnement de l'interface graphique de BeamProp est un processus très simple, et peut être décomposé en cinq étapes de base:

4.1. Cocher la structure :

On commence par en supposant qu'une fenêtre de CAD a été démarré, et que la fenêtre de mise en page a été ouvert qui contient le circuit à simuler; cela pourrait être un circuit nouvellement créé, ou un circuit préalablement sauvegardée qui a été chargé par l'Open élément Fichier / menu. Le fonctionnement général du programme de CAD est décrit dans le manuel de CAD Rsoft [14].

4.2. Choisir le moteur de simulation BeamProp :

La première étape du lancement d'une simulation BeamProp est de s'assurer que l'outil de simulation a été mis à BeamProp / BPM dans la boîte de dialogue Paramètres globaux. Cela indique au programme de CAD qu'une simulation BeamProp BPM doit être effectuée, au lieu d'une simulation FullWave / FDTD, BandSolve, ou GratingMod [14].

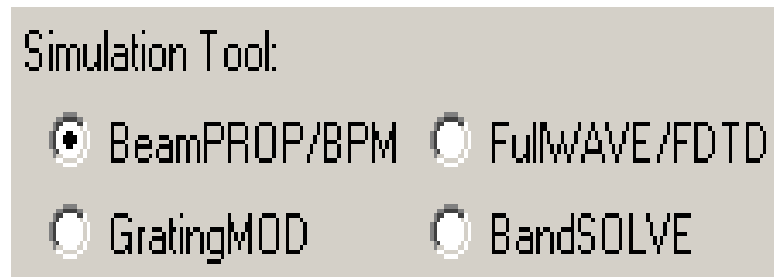


Fig. II.4: Option de simulation de l'outil comme indiqué dans la boîte de dialogue Paramètres globaux.

4.3. Configuration des paramètres de simulation :

La prochaine étape dans le lancement d'une simulation est de cliquer sur Exécuter Simulation, ou l'icône verte de la lumière, dans la barre d'outils à gauche. Ceci nous amène à la boîte de dialogue des paramètres de simulation comme le montre la figure(II.5). Cette boîte de dialogue permet aux paramètres de base nécessaires à une simulation numérique à entrer, et contrôle d'autres aspects importants de la simulation ainsi. Pour plus de clarté dans la compréhension des procédures de base, la description détaillée des champs de saisie pour ce dialogue complexe est relégué dans les sections suivantes[14].

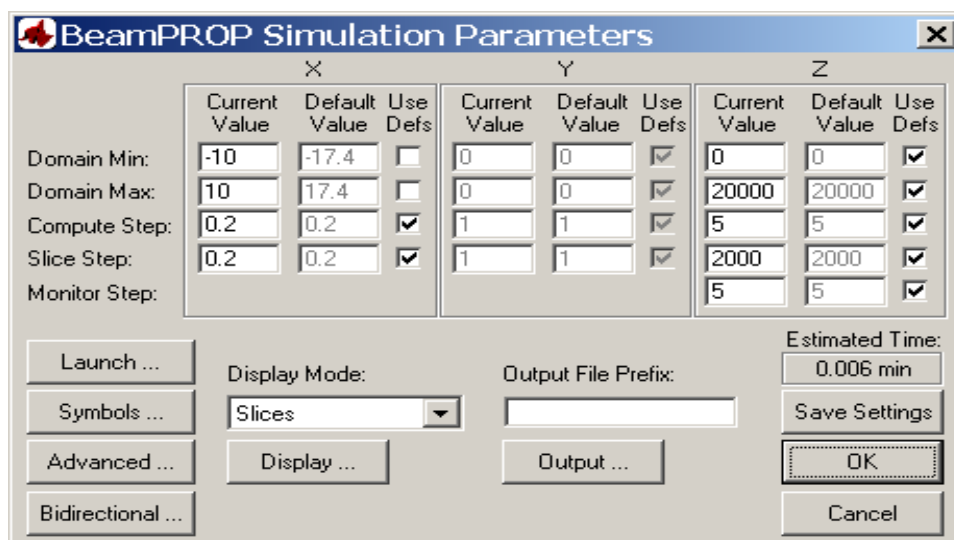


Fig. II.5 : Fenêtre Paramètres de simulation BPM où les paramètres numériques de base de la simulation sont entrés.

Après avoir porté la boîte de dialogue des paramètres de simulation, les valeurs par défaut peuvent être acceptés tels quels, ou une valeur différente pour chaque paramètre peuvent être saisies en modifiant la valeur actuelle. Notez que pour enregistrer les résultats de la simulation, vous pouvez indiquer un préfixe dans le champ de la boîte de dialogue des paramètres de simulation de préfixe du fichier de sortie, et sélectionnez les fichiers de données souhaités via le bouton [14].

4.4. Lancer la simulation :

Une fois les paramètres numériques et d'autres options sont acceptables, cliquez sur OK pour lancer la simulation. Une fois qu'une simulation est initiée, le calcul commence dans une nouvelle fenêtre séparée à partir du programme principal. Dans cette fenêtre, la sortie d'amplitude de champ et tous les moniteurs s'affiche pendant le calcul.

Le programme de simulation tourne en tâche de fond, de sorte que vous pouvez passer à une distance à un autre programme, ou revenir au programme principal pour modifier un autre circuit ou commencer une autre simulation. Lorsque la simulation est terminée, la barre de titre du programme de simulation indique "Calcul terminée", et affiche les coordonnées du curseur pour référence [14].

4.5. Résultats accès :

Pour visualiser ou imprimer les résultats de la simulation, cliquez sur l'icône de winplot dans la barre d'outils en haut de l'interface de CAD, et sélectionnez le graphique désiré dans la boîte de dialogue qui est présenté (les types de graphiques sont répertoriés dans le champ Fichiers de type) [14].

En plus des résultats de simulation, le programme par défaut enregistré un journal d'exécution, qui est essentiellement une copie du fichier ind. Telle qu'elle existait au moment de la simulation, avec par défaut des paramètres de simulation remplacés par les valeurs spécifiques utilisées dans la course. Le journal d'exécution est stocké dans le fichier prefix.run, et peut être ouvert en cliquant sur l'icône du fichier ouvert dans la barre d'outils, sélectionner des fichiers journaux sur Exécuter dans le champ Fichiers de type, et en sélectionnant le fichier désiré [14].

5. Méthode BPM (Beam Propagation Méthode) :

De nombreuses améliorations et résultats ont été publiés sur cette méthode; on peut citer la BPM permet d'analyser les structures non uniformes suivant une direction de propagation quelque soit monomode ou multimode, le principe de cette technique repose sur la décomposition de la propagation d'une onde électromagnétique dans un milieu homogène sur une distance δz et d'une correction de phase due au milieu initial. La figure (II.6) illustre le principe de cette méthode.

La propagation de l'onde est plus aisée à réaliser dans le domaine fréquentiel à l'aide de la base des modes propres de propagation dans le milieu homogène alors que la correction de phase sera triviale dans le domaine spatial. Ainsi, pour chaque pas δz , on doit effectuer une transformation « domaine spatial /domaine spectral » pour la propagation et la transformation inverse pour la correction de phase. En conclusion, la BPM offre la possibilité d'étudier des guides sans connaître au préalable ses propriétés modales. De plus, la rapidité de calcul et le peu de capacité mémoire nécessaire, en raison de la discrétisation spatiale dans une seule des deux directions, en font une méthode prometteuse par rapport aux méthodes numériques dites « lourdes ». Cependant, les hypothèses faites lors de l'élaboration des équations de la méthode limite les chercheurs dans les topologies des structures à simuler [15]. [16].

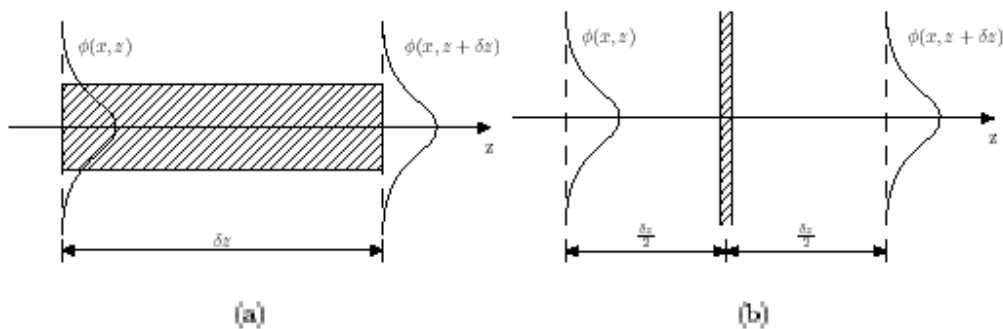


Fig. II.6: Illustration du principe de la BPM.

6. BPM grand-angulaire

La limitation sur la paraxialité BPM, Ainsi que les restrictions liées au contraste d'indice de réfraction et de la propagation multimode, peuvent être Les assouplies par l'utilisation des Qui Ont Été prolongements appelés BPM grand-angulaire $\partial^2 u / \partial z^2$ négligé

dans la dérivation de la BPM de base, elles se diffèrent par la méthode et le degré d'approximation.

La formulation la plus populaire est appelé la technique à étapes multiples à grand angle à base de l'approximation de .

Si D désigne $\partial/\partial z$ dans cette équation, $\partial^2/\partial z^2$ est représenté par D^2 .

Mis à part le fait que D est un opérateur différentiel, l'équation peut maintenant être considérée comme une équation du second degré à résoudre pour D , ce qui donne la solution formelle suivante d'une équation du premier ordre en z :

$$\frac{\partial u}{\partial z} = i\bar{k} (\sqrt{1+p}) u \quad (\text{II.1})$$

$$p \equiv \frac{i}{k^2} \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + (k^2 - \bar{k}^2) \right) \quad (\text{II.2})$$

Cette équation est appelée équation des ondes à sens unique, puisque la dérivée du premier ordre ne reconnaît que des ondes se propageant dans un seul sens (en sens direct ou en sens inverse, mais pas les deux simultanément). Bien qu'elle soit limitée à la propagation dans le sens direct (+z), l'équation ci-dessus est toujours exacte en ce sens qu'aucune approximation paraxiale n'a été faite. La difficulté est que, avant que cette équation soit intégrée le radical impliquant l'opérateur différentiel P doit être évalué. Une approche possible serait d'utiliser un développement de Taylor.

Pour premier ordre ce qui conduit à la standard paraxial BPM, et pour l'ordre supérieur, il devient plus précis, et représente une approche pour la réalisation d'un système à grand-angle. Cependant l'expansion par le biais de l'approximation d'est plus précise que le développement de Taylor pour le même ordre des termes. Cette approche conduit à l'équation suivante à grand-angle :

$$\frac{\partial u_z}{\partial z} = i\bar{k} \frac{N_m(p)}{D_n(p)} \quad (\text{II.3})$$

N_m et D_n sont des polynômes en P , et (m, n) est l'ordre de l'approximation.

L'utilisation de l'équation ci-dessus permet aux grands angles, au contraste d'indice plus élevé, et aux plus complexes des interférences des modes d'être analysés dans les deux cas.

- Ondes guidées et des problèmes d'espace libre
- Obtient des meilleurs résultats au fur et à mesure que l'ordre de Pad (M, N) augmente [17].

7. Polarisation :

Polarisation est définie comme suit dans le logiciel BeamProp:

En 2D, TE est défini comme étant principalement le long de Y , et TM principalement le long de X . En 3D, ce passe et ainsi de TE est défini comme étant principalement le long de X et TM est défini comme étant principalement le long de Y .

7.1. Unités :

Les unités sont définies comme suit dans le logiciel BeamProp:

- 1/ Toutes les unités de longueur sont mesurées en microns [μm].
- 2/ Toutes les unités angulaires sont en degrés.

7.2. Conventions du guide :

Un certain nombre de caractères typographiques et de mise en conventions sont suivies dans ce manuel.

_ Actions à effectuer dans l'interface sont généralement en retrait dans les listes à puces ou numérotées.

- Les noms des champs et des contrôles dans les boîtes de dialogue de l'interface utilisateur sont écrits en caractères gras Courier

- Les valeurs de menus déroulants et les commandes de radio boutons sont écrits en italique romains.

- Les variables et les formules de tables de symboles et expressions à tapé dans les champs de saisie de l'interface graphique sont écrits en Courier.

- En se référant aux exemples de fichiers CAD, le répertoire d'installation de l'outil de CAD est précisé que `<rsoft_dir>`, et devrait être remplacée par la valeur correcte pour votre installation. Sur les machines Windows, elle est généralement `c: \ Rsoft`.

7.3. Influence:

Précision / stabilité de BPM

Précision / stabilité de mode Résolution

Précision / Stabilité des conditions aux limites

7.4. Temps de calcul

Approximativement proportionnelle à $N_x * N_y * N_z * m$, où $N_x = (\text{domaine } x) / \Delta x$, etc, et m est le premier numéro de l'Ordre Pade Full-vecteur BPM est environ 4 fois scalaire ou semi-vecteur BPM normale Bi-directional BPM est N fois BPM normal.

7.5. BPM bi-directionnelle :

Alors que BPM à grand-angle permet la propagation dans un plus large cône d'angle par rapport à l'axe z , ce cône peut asymptotiquement approche $+ / - 90$ degrés de l'axe z , et ne peut être étendue pour traiter la propagation simultanée le long de la négative axe z . Pour cela, il faut traiter les ondes réfléchies à part, bien qu'elles soient couplées.

Diverses techniques bidirectionnelles BPM ont été envisagées pour résoudre ce problème, avec la plupart se concentrant sur le couplage qui se produit par la réflexion d'une onde incidente sur une interface long de z . Voici une des dernières techniques qui tient compte de plusieurs interfaces et les réflexions d'une manière efficace.

Dans cette méthode, le problème de propagation de l'onde guidée est divisé en régions qui sont uniformes le long de z , et les interfaces entre ces régions.

À tout point de la structure, il est considéré que les deux ondes incidentes et réfléchies peuvent exister simultanément, qui sont désignés par $u^+(x,y,z)$ et $u^-(x,y,z)$ respectivement. Dans les régions uniformes ces deux types d'ondes sont découplés, tandis que les interfaces entre ces régions couplent ces ondes dues à la réflexion.

L'idée essentielle est d'employer une approche de matrice de transfert dans laquelle les éléments sont des opérateurs différentiels. L'onde incidente est généralement donnée à l'entrée de la structure, et l'objectif est de déterminer l'onde réfléchie au début et l'onde transmise à la sortie.

7.6 Philosophie générale pour choisir les valeurs des paramètres de simulation :

Si le temps estimé par BeamProp avec les valeurs par défaut des paramètres est «raisonnable», commencer avec ces valeurs, puis "raffiner" autant que nécessaire pour obtenir l'exactitude ou agrandir ces valeurs jusqu'à ce que le délai devient raisonnable, et exécutez la simulation pour voir si elle a un sens physique. Ensuite, affinez autant que nécessaire pour obtenir une précision.

Dans les paragraphes suivants on va décrire les effets des différents paramètres sur la stabilité et la précision des résultats de simulations.

7.7. Paramètres :

Grille des tailles, A_x et A_y

- Étape Taille, A_z
- Nombre d'onde de référence, k Pade ordre
- Computationnel Domain / Conditions aux limites
- Options polarisation
- Schéma des paramètres (Full-vectorielle BPM uniquement)

8. Effet de taille de grilles (Δx et Δy) :

Les petites tailles de grilles (Δx et Δy) améliorent la précision des deux, BPM et la résolution des modes, mais la stabilité n'est pas affectée, sauf dans le cas de BPM pleinement vectorielle.

Les petites tailles des grilles produisent de difficulté aux conditions aux limites transparentes (les reflets indésirables) ou avec des champs aux interfaces (artefacts tels que l'énergie «bloqué» à proximité d'une interface). Ces problèmes sont soulagés par l'utilisation de plus petite taille du pas (Δz).

8.1. Effet de la taille du pas (Δz) :

A) BPM et le mode de résolution basée sur la normale BPM (méthode de corrélation) :

- Diminuer la taille du pas (Δz) améliore la précision, la stabilité n'est pas affectée.

- Diminuer la taille du pas (Δz) atténue également les problèmes de performance des conditions aux limites transparentes et de la propagation au près des interfaces à des tailles petites des grilles.

- Dans certaine cas, la taille du pas (Δz) peut être échangé contre le nombre d'onde de référence k . puisque la précision dépend du :

$$(\bar{k} - k_z) \cdot \Delta z \quad (\text{II.4})$$

B) Résolution des Modes basée sur la BPM à distance imaginaire. (La méthode itérative) :

- La diminution de la taille du pas n'a pas d'effet significatif sur l'exactitude ou de la stabilité.

- La plus grande taille du pas améliore le taux de convergence, mais une trop grande taille du pas converge vers des modes non désirées. BeamProp choisit une valeur par défaut près de cette limite, si des problèmes surviennent, réduire la taille du pas par des facteurs de 2 jusqu'à ce qu'à la résolution des problèmes.

8.2. Effet du nombre d'onde de référence :

A) BPM et la résolution des modes de basée sur la normale BPM (méthode de corrélation) :

- Un nombre d'onde de référence plus précise conduit à des résultats plus précis.

Le meilleur choix est habituellement $\cos \theta \beta$, où β est la constante propagation du principal mode impliqués dans la propagation, et θ est l'angle de propagation par rapport à l'axe z .

- Dans certain cas, le nombre d'onde de référence peut être échangé contre de la taille du pas. Car la précision dépend de l'expression

- De la même façon (pour la BPM seulement), dans une certaine mesure le nombre d'onde de référence peut être échangé contre l'Ordre du Padé, de plus élevé Ordre du Padé réduit l'effet du terme d'erreur.

B) Mode résolution basé sur la distance imaginaire BPM (la méthode itérative) :

Le choix du nombre d'onde de référence n'a aucun effet significatif, il est mis à jour dynamiquement en fonction de chaque mode. Le meilleur choix initial est la valeur par défaut, k_{ext} .

8.3. Effet du domaine de calcul et des conditions aux limites :

L'effet de ces options est généralement moins critique, puisque la condition aux limites transparentes (TBC), lorsqu'elle fonctionne correctement, devrait faire l'effet de la position de la limite immatérielle. Ce pendant, il ya plusieurs mises en garde pour chacun.

A) Calcul de domaine :

Lorsque le TBC a des difficultés, on choisit un plus grand domaine de calcul.

B) Conditions aux limites :

Il existe deux formes de la TBC, complet et simple. La valeur par défaut complet TBC tente d'être plus intelligente, et il est parfois plus précis, mais il est parfois pire que le TBC simple.

Le Simple TBC avec une plus petite taille du pas z et les meilleurs choix et en particulier dans le cas des problèmes multimodes ou des problèmes à grandes radiations.

8.4 Effet des options de la polarisation :

Les options principales de polarisation sont Aucun (c.-à-scalaire), semi-vectorielle, et le plein-vectorielle, et elles affectent la précision avec laquelle la BPM traite certains effets comme indiqué ci-dessous.

A) Aucun (scalaire):

les effets de polarisation sont ignorés. Ceci est approprié pour les "petits contraste d'indice" pour lesquels les effets de polarisation sont "faibles".

B) Semi-vectorielle:

les effets de dépendance de polarisation sont inclus, mais le couplage de polarisation et les effets hybrides de polarisation sont ignorés. Ce qui est approprié et suffisant pour

presque tous les "grands contraste d'indice" pour lesquels les effets de polarisation ont d'intérêt.

C) Full-Vector:

Tous les effets de polarisation sont inclus, mais les simulations sont bien plus compliqués et beaucoup de temps que dans le cas scalaire ou semi-vecteur. En général pas beaucoup plus d'information est obtenue, à l'exception pour les dispositifs destinés à coupler les polarisations. La stabilité doit être contrôlée.

8.5. Effet paramètre du régime:

Le paramètre du régime est utilisé pour les simulations à plein-vectorielle pour Contrôler la stabilité, qui devient un problème pour le "Grand contraste d'indice" et / ou «petites taille de la grille".

Pour remédier à l'instabilité ci-dessus, le paramètre du régime doit être réglé sur une valeur supérieure à sa valeur par défaut de 0,5, et moins de 1,0.

Une méthode générale est de commencer avec des simulations scalaires, même si votre problème nécessite plus de sophistication, et seulement après que le problème commence à avoir un sens physique, et de continuer le processus jusqu'à semi-plein ou vecteur selon les besoins.

9. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté le logiciel de simulation BeamProp avec son programme de calcul robuste base sur la BPM. Ce logiciel utilise dans le calcul de la propagation d'ondes monochromatique la BPM de base ainsi que ses principales extensions pour inclure plusieurs effets tels que la polarisation et la non linéarité des matériaux, il utilise deux méthodes pour la résolution des modes à savoir la BPM à distance imaginaire et la méthode de corrélation.

Le bon choix de valeurs de paramètres conduit à de bons résultats

Chapitre II :

Résultats et interprétation

Résultats et interprétation

1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous présentons les différents résultats de simulation d'un guide d'onde en arête. Dans un premier temps, l'influence de la géométrie du guide d'onde en arête à base du matériau d'oxynitride de silicium (SiO_xN_y) sur la biréfringence sera étudiée. Ensuite, nous exposons les divers modes TE et TM guidés dans notre dispositif tels que : le mode fondamental, bimode ($m=1$) et multimode ($m=2$). Enfin, les conditions de coupure monomode/multimode seront déterminées.

2. Modélisation d'un guide d'onde en arête :

Dans notre étude nous nous intéressons à l'étude d'un guide d'onde optique en arête représenté par une couche diélectrique guidante (SiO_xN_y) d'indice de réfraction $n_f=1.60$ de largeur W , d'une hauteur H et d'un paramètre de gravure D , limité par un substrat et une couverture (superstrat) de l'oxyde de silicium (SiO_2) d'indice de réfraction ($n_s=n_c=1.45$) un (revêtement). Les indices de réfraction de trois couches sont valables pour une longueur d'onde de $\lambda=830$ nm.

Le guide d'onde étudié est un guide d'onde à double confinement chargé par une arête (Fig. III.1).

On peut modéliser ce guide de la manière suivante, avec $n_f > n_s$

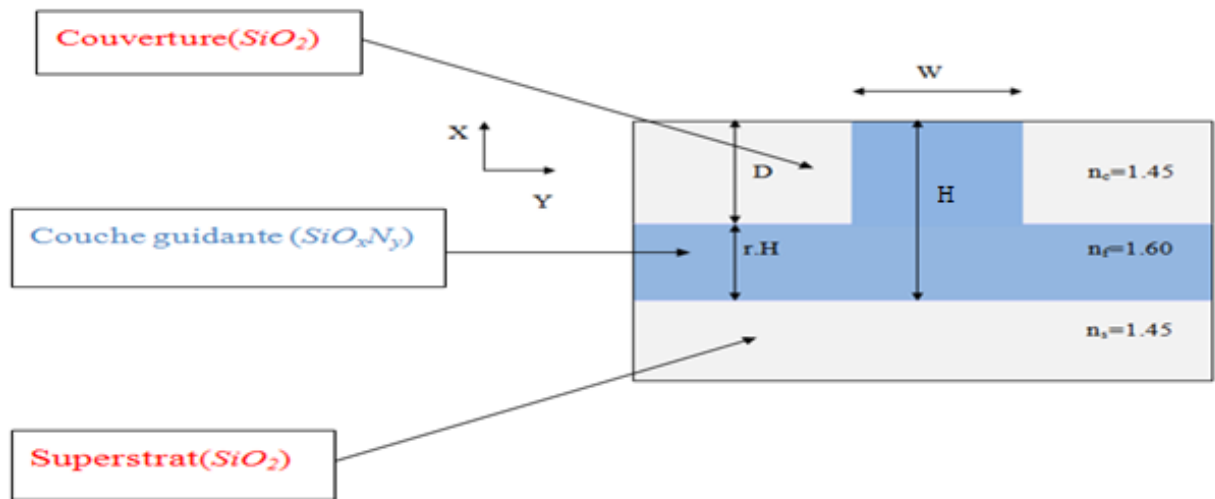


Fig. III.1 : Géomètre du guide d'onde en arête.

W : Largeur du guide.

D : Gravure.

H : Hauteur du guide ($h = r.H$).

r : Paramètre du gravure.

n_s, n_c et n_f sont respectivement les indices de réfraction dans le substrat, superstrat et film.

Dans notre travail, nous varions la largeur W de la couche guidante de SiO_xN_y , et nous fixons son indice de réfraction, et nous effectuons une série de simulation. Afin de :

1/Définir le dimensionnement d'un guide en arête à biréfringence d'indice effectif nulle.

2/Définir le dimensionnement d'un guide en arête monomode TE et TM, pour ne pas avoir de modes TE et TM se propageant à des vitesses différentes.

3. Etude de la biréfringence du guide d'onde :

Dans cette partie, nous allons définir les dimensions d'un guide d'onde optique en arête telle que la condition : $\Delta n = n_{TE} - n_{TM} \cong 0$ soit vérifiée.

La configuration la plus simple d'un guide d'onde est un empilement de trois couches de matériaux d'indices de réfraction différents (Fig. III.1) . Notre guide est constitué d'un substrat SiO_2 d'indice de réfraction $n_s = 1.45$, une couche intermédiaire en SiO_xN_y d'indice $n_f = 1.60$ correspondant au film guidant et une couche supérieure de couverture d'indice de réfraction $n_c = 1.45$.

3.1. Répartition des champs :

On note sur les Figure (III.2,3,4) que les composantes de champ électrique E et magnétique H sont assez confinées les pertes sont faibles puisque le guide d'onde en arête assure le confinement de la lumière dans les deux directions TE TM.

On constate également que l'indice effectif de la structure augmente lorsque la largeur de film guidant de SiO_xN_y croit.

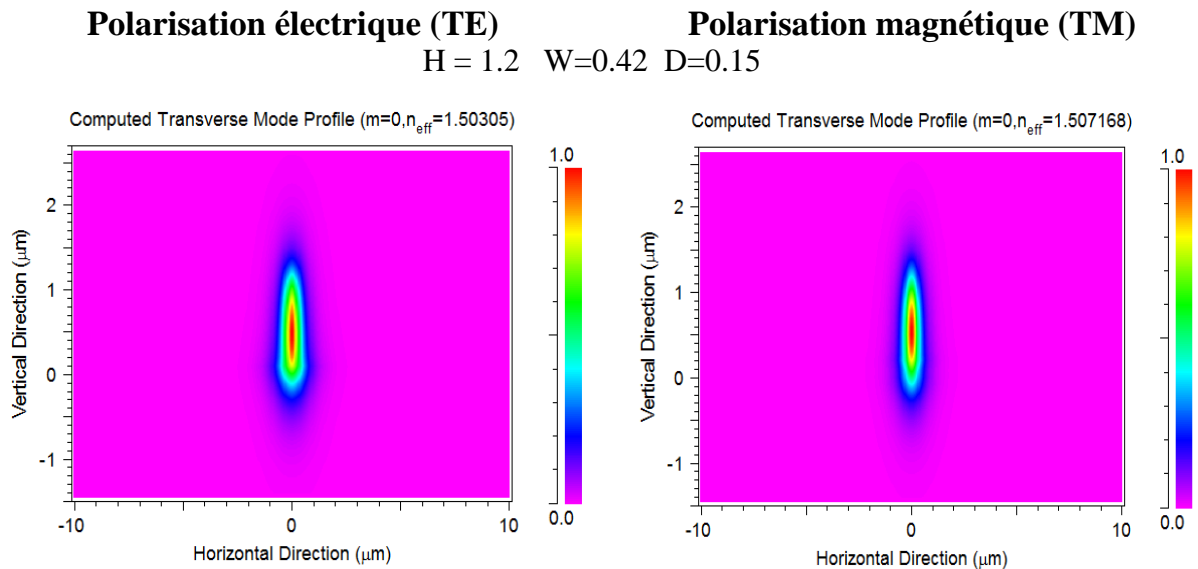


Fig. III.2 : Confinement de la lumière dans le guide d'onde, avec les polarisations TE et TM pour une largeur $W=0.42$.

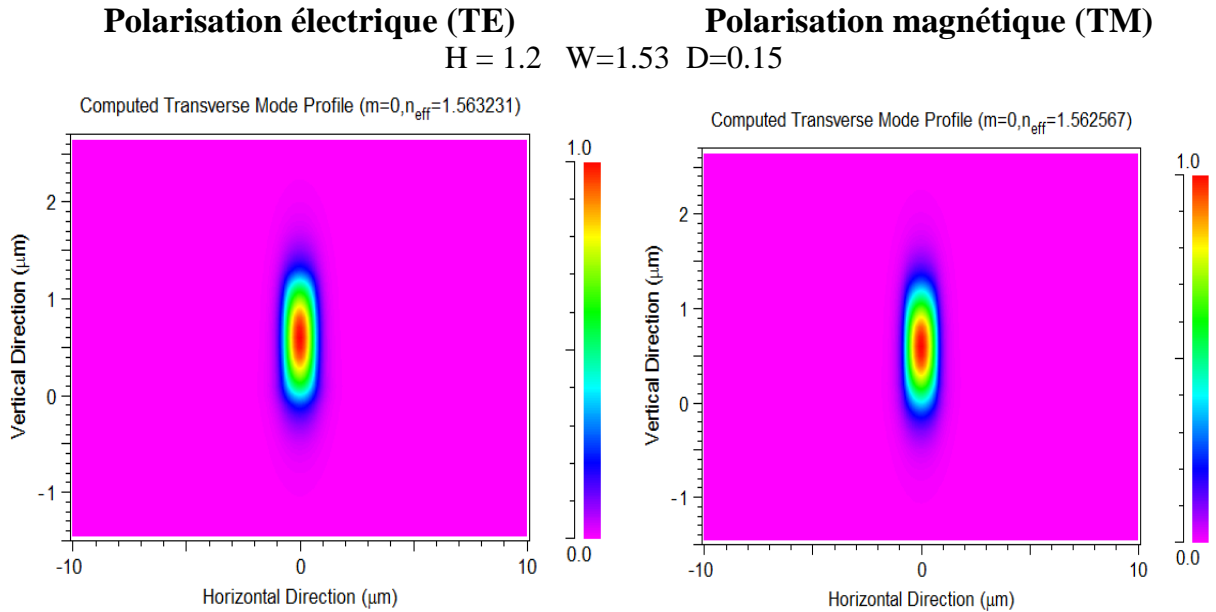


Fig. III.3 : Confinement de la lumière dans le guide d'onde, avec les polarisations TE et TM pour une largeur du guide $W=0.53 \mu\text{m}$.

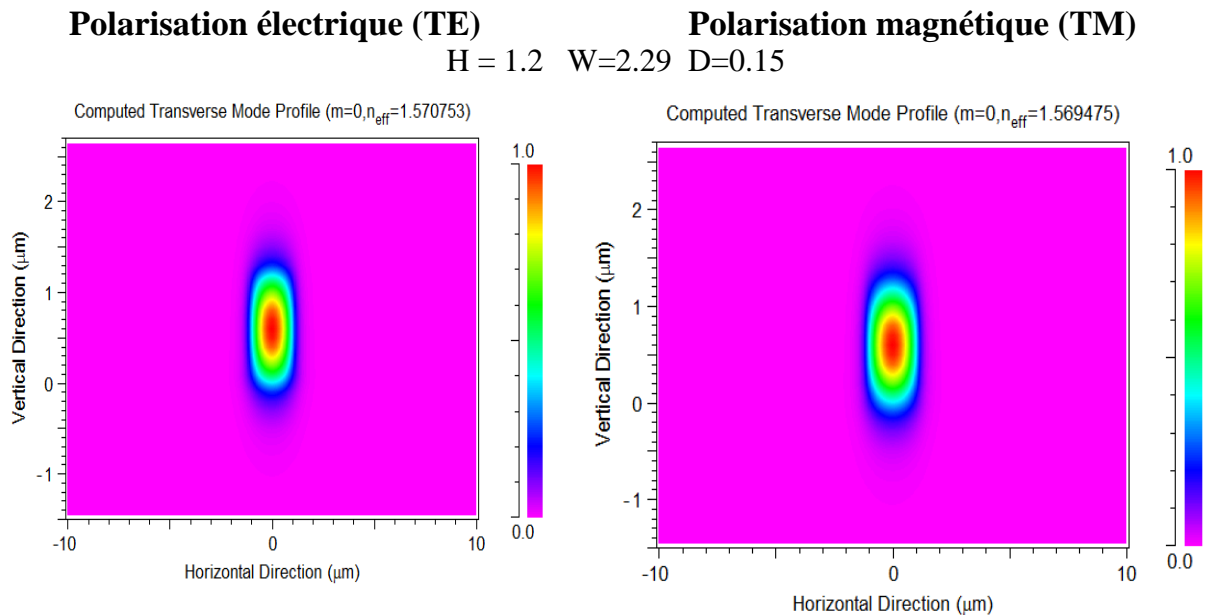


Fig. III.4 : Confinement de la lumière dans le guide d'onde, avec les polarisations TE et TM pour une largeur $W=2.29 \mu\text{m}$.

3.2. Evolution de Δn en fonction de la largeur W :

Dans cette partie, nous étudions l'influence de la largeur W de la couche guidante de SiO_xN_y sur la biréfringence d'indice effectif. Dans un premiers temps, nous fixons la hauteur H du guide SiO_xN_y à 1.2, 1.6, 2 et 2.3 μm . Les calculs sont effectués en faisant varier la

largeur W tout en fixant la hauteur H . une série de simulation a été réalisé pour des valeurs données du paramètre de la gravure D à partir desquelles on trace la biréfringence de l'indice effectif Δn du guide en fonction de la largeur W .

3.2.1. Pour $H = 1.2 \mu\text{m}$:

La figure (III.5) illustre l'évolution de la biréfringence Δn en fonction de la largeur W de la couche guidante de SiO_xN_y d'une hauteur $H=1.2 \mu\text{m}$ pour différentes valeurs de gravure D . Cette figure montre que le signe de la biréfringence de l'indice effectif s'inverse lorsque la largeur W de la couche guidante de SiO_xN_y augmente, c'est-à-dire, on trouve des valeurs de la biréfringence Δn positive et négative.

Nous remarquons également qu'il existe deux valeurs de la largeur W de la couche guidante de SiO_xN_y pour les quelles la biréfringence Δn peut s'annuler. La biréfringence s'annule pour les différentes valeurs du paramètre de gravure D .

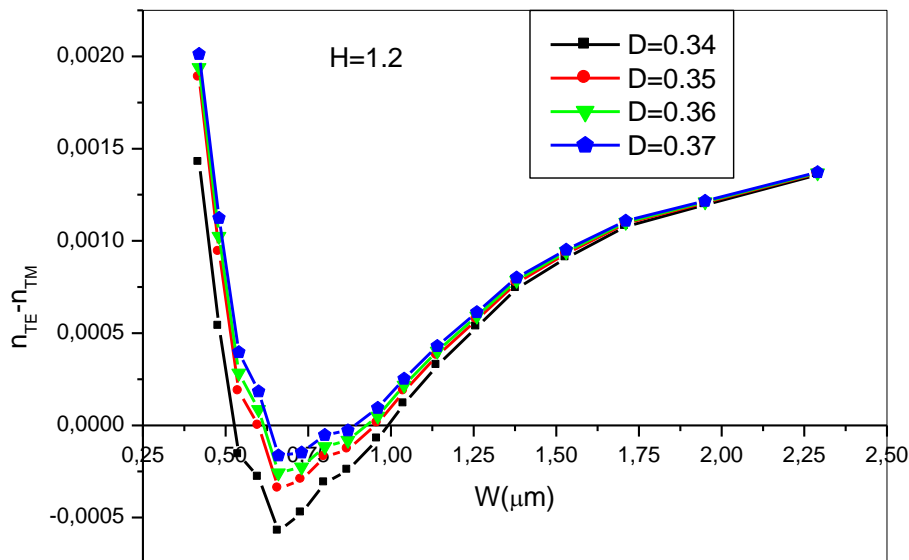


Fig. III.5 : Evolution de la biréfringence en fonction de la largeur W , pour différentes valeur de D , avec $H=1.2$.

Tous les points d'intersection de l'axe *Biréfringence-zéro* pour les différentes valeurs du paramètre de gravure D sont déterminés et regroupés dans le tableau (III.1).

Table III.1 : Différentes valeurs de la largeur du guide W dans laquelle s'annule Δn ($n_{TE} - n_{TM} = 0$), avec différentes valeurs de D , pour $H=1.2$.

Paramètre D	$D=0.34 \mu\text{m}$	$D=0.35 \mu\text{m}$	$D=0.36 \mu\text{m}$	$D=0.37 \mu\text{m}$
Largeur $W1 (\mu\text{m})$	0.52	0.59	0.61	0.63
Largeur $W2 (\mu\text{m})$	0.99	0.95	0.93	0.88

Ce tableau montre que si la biréfringence de l'indice effective est nulle, la profondeur de gravure est minimum, c'est un paramètre important car technologiquement il est facile de fabriquer un guide d'onde peu gravé.

3.2.2. Pour $H = 1.6 \mu\text{m}$:

La figure (III.6) représente la variation de la biréfringence Δn en fonction de la largeur W de la couche guidante de SiO_xN_y d'une hauteur $H=1.6\mu\text{m}$ pour différentes valeurs de gravure D . Cette figure montre que le signe de la biréfringence de l'indice effectif s'inverse lorsque la largeur W de la couche guidante de SiO_xN_y augmente, c'est-à-dire, on trouve des valeurs de la biréfringence Δn positive et négative.

Nous remarquons également qu'il existe deux valeurs de la largeur W de la couche guidante de SiO_xN_y pour lesquelles la biréfringence Δn peut s'annuler. La biréfringence s'annule pour les différentes valeurs du paramètre de gravure D .

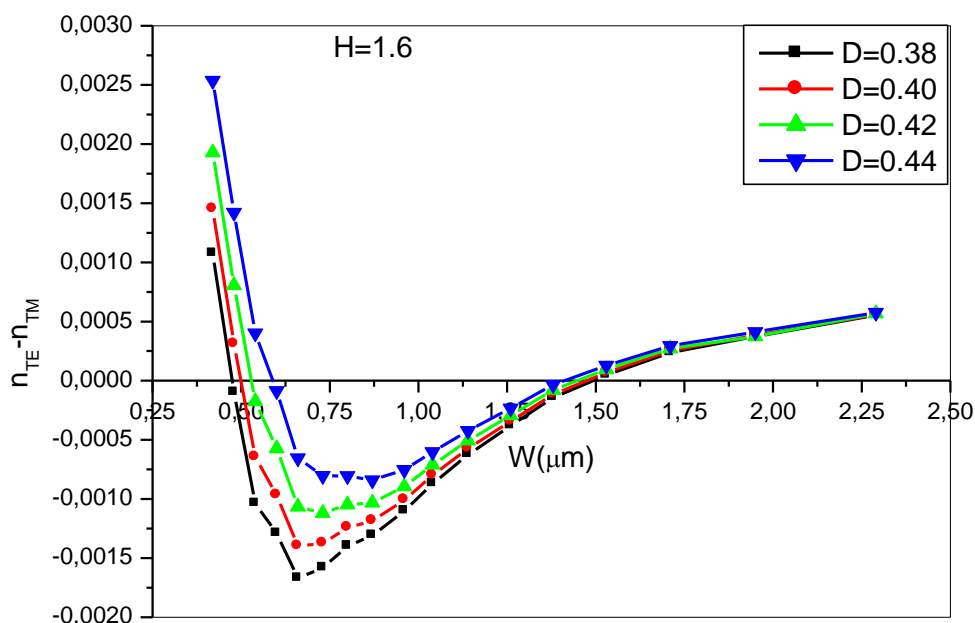


Fig. III.6 : Evolution de la biréfringence en fonction de la largeur W , pour différentes valeurs de D , avec $H=1.6$.

Tous les points d'intersection de l'axe Biréfringence-zéro pour les différentes valeurs du paramètre de gravure D sont déterminés et regroupés dans le tableau (III.2).

Table III 2 : Différentes valeurs de la largeur du guide W dans laquelle s'annule Δn ($n_{TE} - n_{TM}=0$), avec différentes valeurs de D , pour $H=1.6$.

Paramètre D	D=0.38 μm	D=0.40 μm	D=0.42 μm	D=0.44 μm
Largeur W1 (μm)	0.48	0.50	0.53	0.59
Largeur W2 (μm)	1.40	1.49	1.46	1.50

Ce tableau montre que si la biréfringence de l'indice effective est nulle, la profondeur de gravure est minimum, c'est un paramètre important car technologiquement il est facile de fabriquer un guide d'onde peu gravé.

3.2.3. Pour $H = 2 \mu\text{m}$:

La variation de la biréfringence Δn en fonction de la largeur W de la couche guidante de SiO_xN_y d'une hauteur $H=2\mu\text{m}$ pour différentes valeurs de gravure D est illustrée sur la figure (III.7). Cette figure montre que le signe de la biréfringence de l'indice effectif s'inverse lorsque la largeur W de la couche guidante de SiO_xN_y augmente, c'est-à-dire, on trouve des valeurs de la biréfringence Δn positive et négative.

Nous remarquons également qu'il existe deux valeurs de la largeur W de la couche guidante de SiO_xN_y pour lesquelles la biréfringence Δn peut s'annuler. La biréfringence s'annule pour les différentes valeurs du paramètre de gravure D .

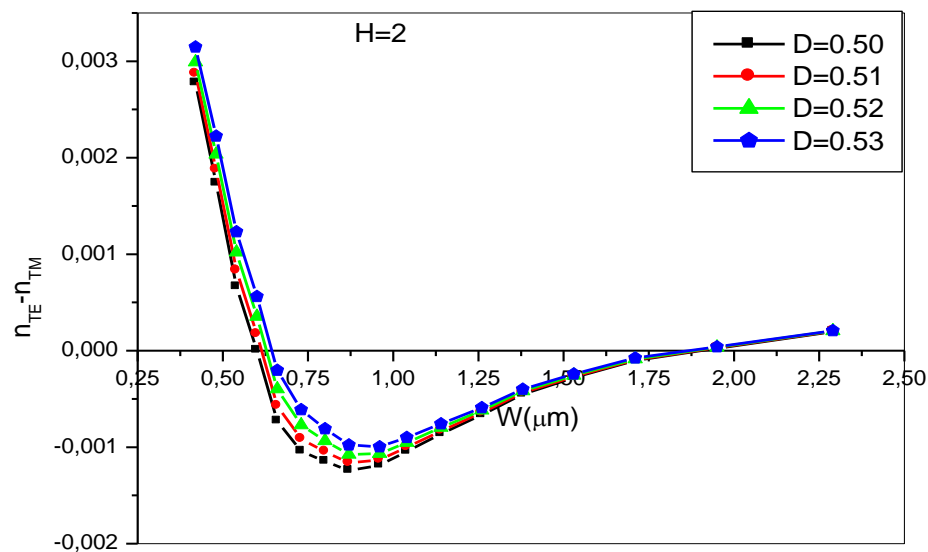


Fig. III.7 : Evolution de la biréfringence en fonction de la largeur W , pour différentes valeurs de D , avec $H=2$.

Tous les points d'intersection de l'axe Biréfringence-zéro pour les différentes valeurs du paramètre de gravure D sont déterminés et regroupés dans le tableau (III.3).

Table III.3 : Différentes valeurs de la largeur du guide W dans laquelle s'annule Δn ($n_{\text{TE}} - n_{\text{TM}} = 0$), avec différentes valeurs de D , pour $H=2$.

Paramètre D	D=0.50 μm	D=0.51 μm	D=0.52 μm	D=0.53 μm
Largeur W1 (μm)	0.59	0.61	0.62	0.64
Largeur W2 (μm)	1.86	1.86	1.86	1.86

Ce tableau montre que si la biréfringence de l'indice effective est nulle, la profondeur de gravure est minimum, c'est un paramètre important car technologiquement il est facile de fabriquer un guide d'onde peu gravé.

3.2.4. Pour $H = 2.3$:

La figure (III.8) représente la variation de la biréfringence Δn en fonction de la largeur W de la couche guidante de SiO_xN_y d'une hauteur $H=2.3$ μm pour différentes valeurs de gravure D .

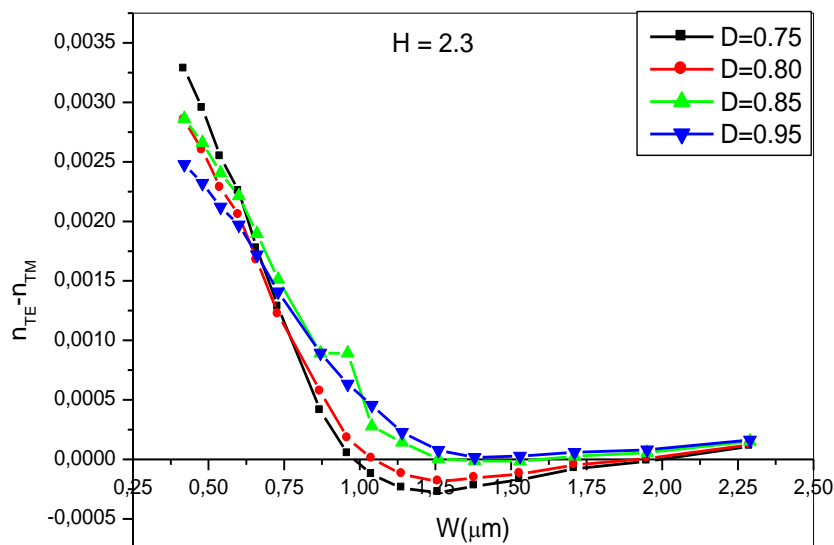


Fig. III.8 : Evolution de la biréfringence en fonction de la largeur W , pour différentes valeurs de D , avec $H=2.3$.

Cette figure montre que le signe de la biréfringence de l'indice effectif s'inverse lorsque la largeur W de la couche guidante de SiO_xN_y augmente, c'est-à-dire, on trouve des valeurs de la biréfringence Δn positive et négative.

Nous remarquons également qu'il existe deux valeurs de la largeur W de la couche guidante de SiO_xN_y pour lesquelles la biréfringence Δn peut s'annuler pour les valeurs du paramètre D (0.75, 0.80, 0.85) pour une valeur de $D=0.95$. On remarque que la biréfringence est toujours supérieure à zéro. La biréfringence s'annule pour les différentes valeurs du paramètre de gravure D .

Tous les points d'intersection de l'axe *Biréfringence-zéro* pour les différentes valeurs du paramètre de gravure D sont déterminés et regroupés dans le tableau (III.4).

Table III.4 : Différentes valeurs de la largeur du guide W dans laquelle s'annule Δn ($n_{TE} - n_{TM}=0$), avec différentes valeurs de D , pour $H=2.3$.

Paramètre D	D=0.75 μm	D=0.80 μm	D=0.85 μm	D=0.90 μm
Largeur W1 (μm)	0.99	1.2	1.25	-
Largeur W2 (μm)	1.80	1.79	1.65	-

Ce tableau montre que si la biréfringence de l'indice effective est nulle, la profondeur de gravure est minimum, c'est un paramètre important car technologiquement il est facile de fabriquer un guide d'onde peu gravé.

4. Etude la condition de coupure monomode/multimode du guide d'onde :

Il ya plusieurs études ont été menées pour identifier les conditions de coupure pour le deuxième mode Soref et al [18] et Pogossian et al [19] ont montré qu'il est possible d'obtenir un guide d'onde en arête monomode. Ils ont proposé une opération simple entre les paramètres géométriques du guide d'onde pour assurer son caractère monomode.

$$\frac{W}{H} \quad (\text{III.1})$$

Où W est largeur du guide, H sa hauteur, r le paramètre de gravure qui correspond au rapport entre l'épaisseur de l'arête déterminant le confinement latérale et l'épaisseur du guide et $\alpha = 0,3$ [46] et $\alpha = 0$ [47]. Si nous considérons

$$\frac{W_m}{H} = 0.3 + \frac{r}{\sqrt{1-r^2}} \quad \text{et } 0.5 \leq r \quad (\text{III.2})$$

Cette formule (III.1, III. 2) servira de point de départ pour les simulations effectuées, cependant elle a été établie pour des "grands" guides de l'ordre de plusieurs microns de hauteur et dont la seule contrainte est d'être monomode.

Cette formule détermine de point de départ pour les simulations effectuées, cependant elle a été établie pour des "grands" guides de l'ordre de plusieurs microns de hauteur et dont la seule contrainte est d'être monomode. De plus, les cas où le paramètre de gravure r est inférieur à 0,5 n'ont pas été étudiés par [18] et [19]. Il est donc nécessaire et très intéressant de faire varier r sur un grand domaine, c'est-à-dire que les conditions liées à

l'équation (III.1) ne sont pas strictes et qu'il est possible de ne pas les respecter tout en conservant les objectifs fixés, c'est-à-dire la condition mono-mode.

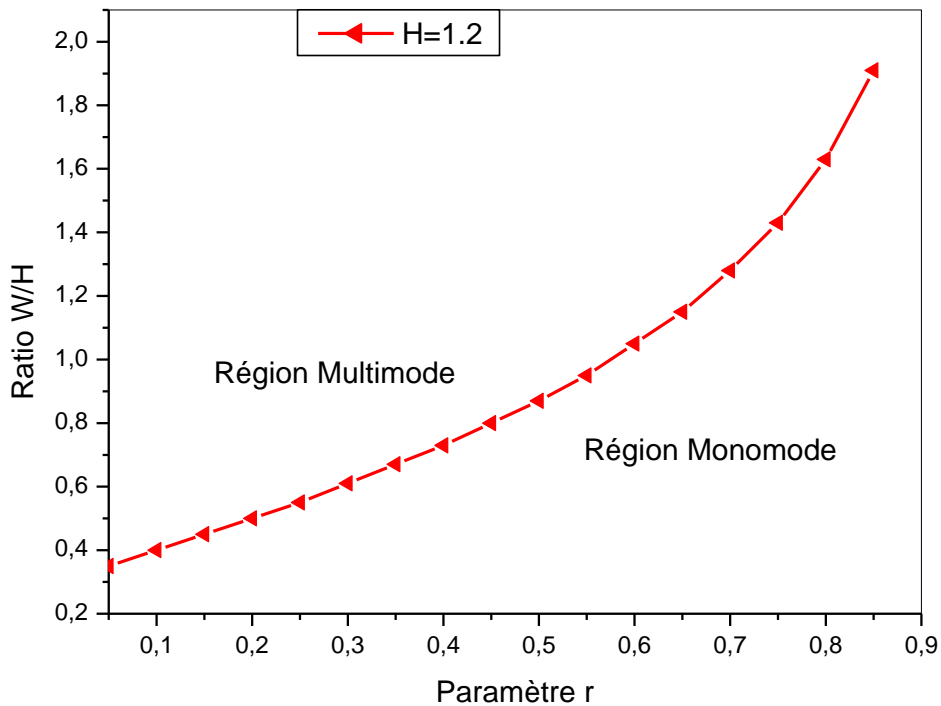


Fig.III.9: Variation de W/H en fonction du paramètre r pour $H= 1.2$.

Cette section présente l'influence des paramètres géométriques du guide d'onde en arête (hauteur, largeur et profondeur de gravure) sur la condition mono-mode. Dans un premier temps fixé la hauteur $H = 1.2$ en augmentant le ratio W/H pour trouver la coupure monomode-multimode, l'itération de la simulation est répétée avec différentes valeurs de la hauteur h des guides d'ondes et le rapport r ($r = h / H$), on augmente progressivement la largeur du guide d'ondes jusqu'à l'apparition du second mode de propagation et on détermine la largeur maximale W_{\max} des guides mono-mode pour les deux polarisation TE et TM (Fig. III.10)

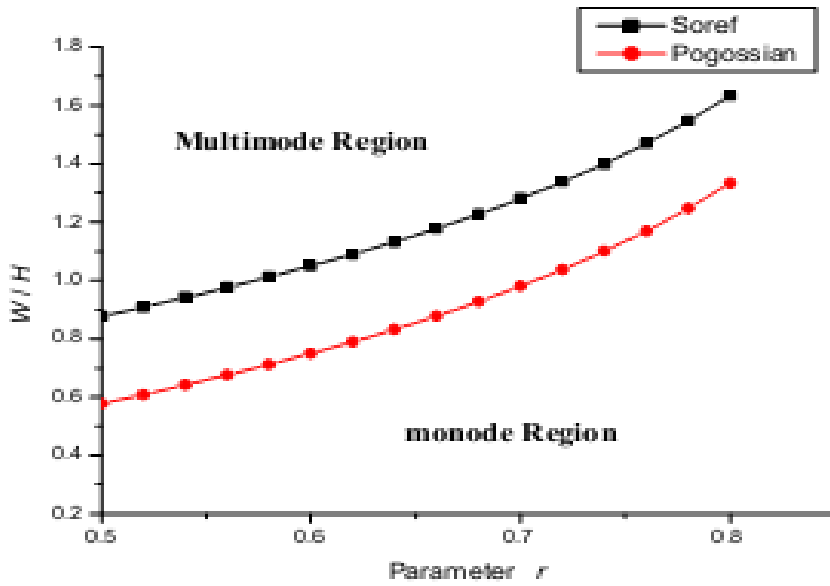


Fig.III.10: W/H en fonction du paramètre de la gravure r d'après Soref et Pogossian.[18,19].

4.1. Répartition des champs:

A) Mode fondamentale ($m=0$) :

La figure (III.11) représente le profile transversal du mode fondamental ($m=0$) à l'entrée du guide d'onde en arête à base du film guidant SiO_xN_y . Ce mode est obtenu par l'injection d'une onde gaussienne TE et/ou TM d'une longueur d'onde de $\lambda = 830$ nm dans le guide d'onde. L'indice effectif du mode fondamental pour une polarisation TE est $n_{\text{eff}}(\text{TE}) = 1.50305$ et $n_{\text{eff}}(\text{TM}) = 1.507168$ pour une polarisation TM.

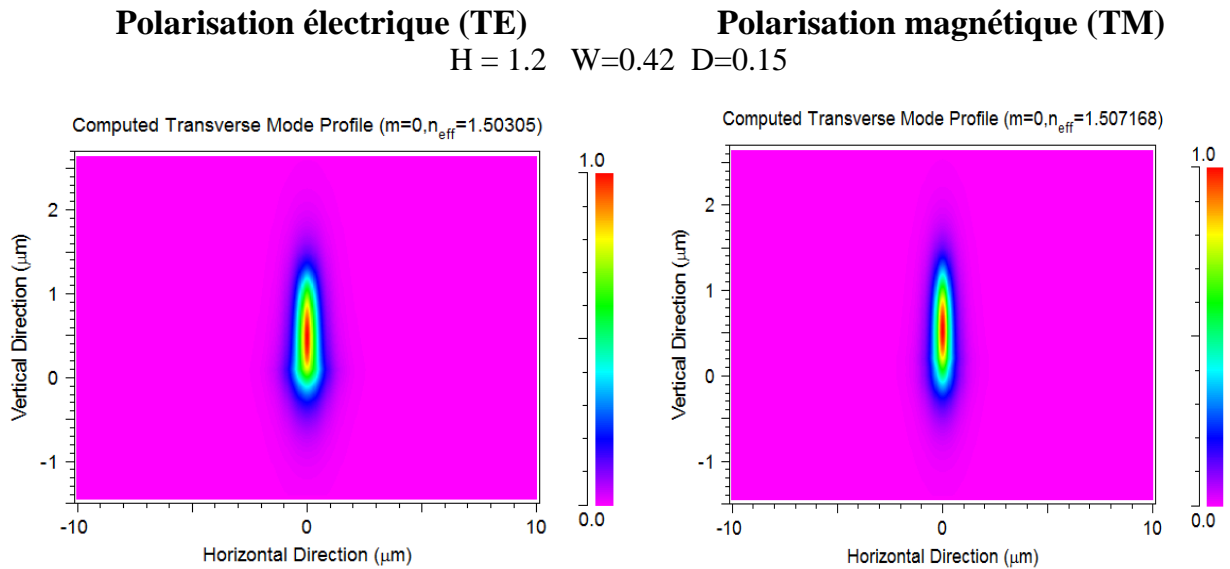


Fig. III.11: Confinement de la lumière dans le guide d'onde, avec les polarisations TE et TM pour le mode fondamentale.

B) Mode 1 (m=1) :

Dans la figure (III.12), nous visualisons le profil transversal du mode 1 à l'entrée d'un guide d'onde en arête à base d'un film guidant de SiO_xN_y pour les deux polarisations TE et TM. L'indice effectif de ce mode est $n_{\text{eff}} = 1.463235$ pour une polarisation transverse électrique (TE) et $n_{\text{eff}}=1.469377$ pour une polarisation transverse magnétique (TM). Cette figure montre l'apparition de deux ondes confinées dans le film guidant SiO_xN_y .

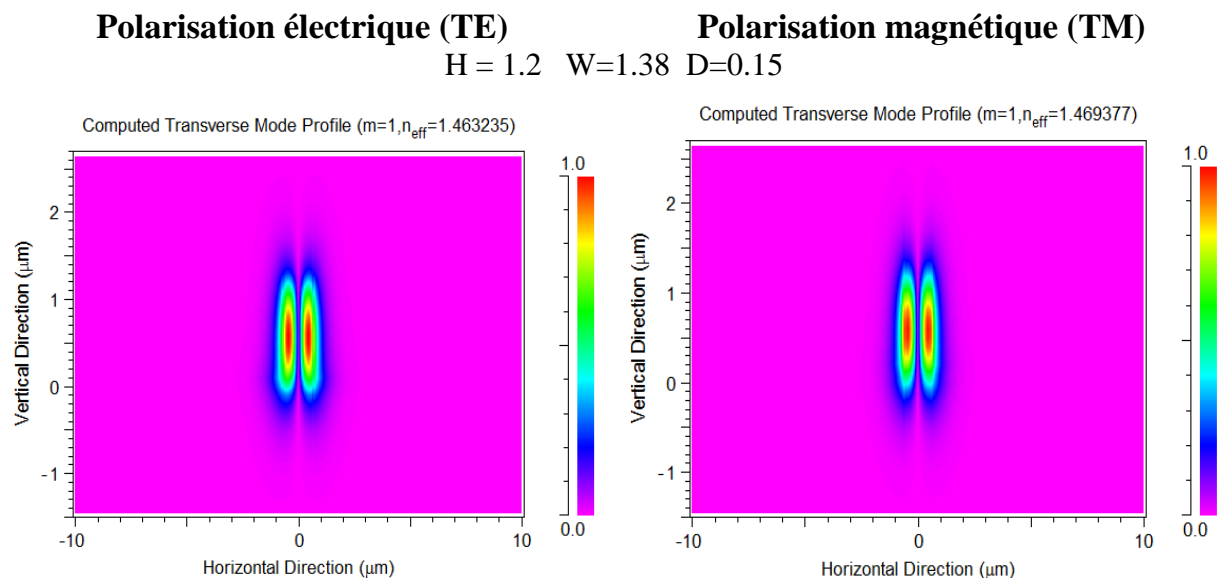


Fig. III.12 : Confinement de la lumière dans le guide d'onde, avec les polarisations TE et TM pour le mode 1.

C) Mode 2 (m=2) :

Le profile transversal de deux ondes TE et TM du mode 2 (m=2) à l'entrée du guide en arête à base du film guidant SiO_xN_y est illustré sur la figure (III. 13). Cette figure montre l'apparition de trois ondes à l'entrée de notre guide. L'indice effectif de ce mode est $n_{\text{eff}} = 1.464354$ et $n_{\text{eff}}=1.46897$ pour les deux polarisations TE et TM respectivement.

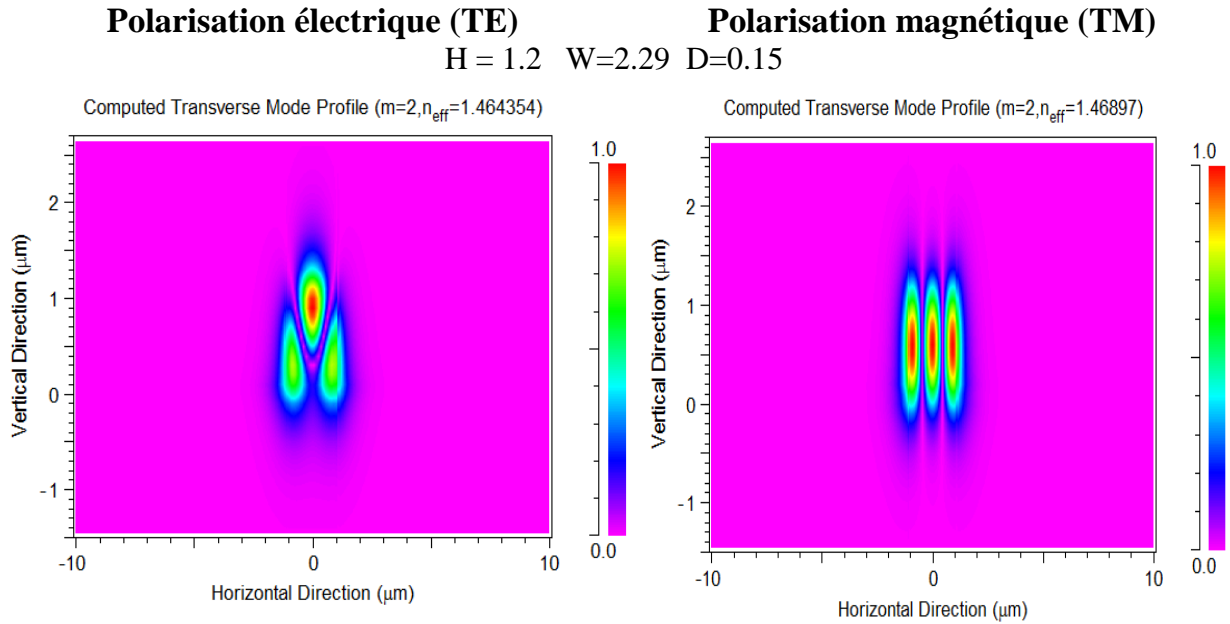


Fig. III.13 : Confinement de la lumière dans le guide d'onde, avec les polarisations TE et TM pour le mode 2.

4.2. Détermination de la dimension de coupure monomode/multimode :

A) Pour une géométrie de la largeur $W=1.2 \mu\text{m}$:

Pour déterminer le caractère monomode de notre guide d'onde, en faisant varier la largeur W du film guidant SiO_xN_y en fixant la hauteur H du film guidant à une valeur choisi ($H=1.2 \mu\text{m}$). Le valeur du paramètre D est imposée a $0.15 \mu\text{m}$ puis que de la cette valeur ,on peut pas obtenir des guide d'onde monomodes. La figure (III.14) illustre la variation de l'indice effectif de la structure en fonction de la largeur W du film guidant SiO_xN_y .

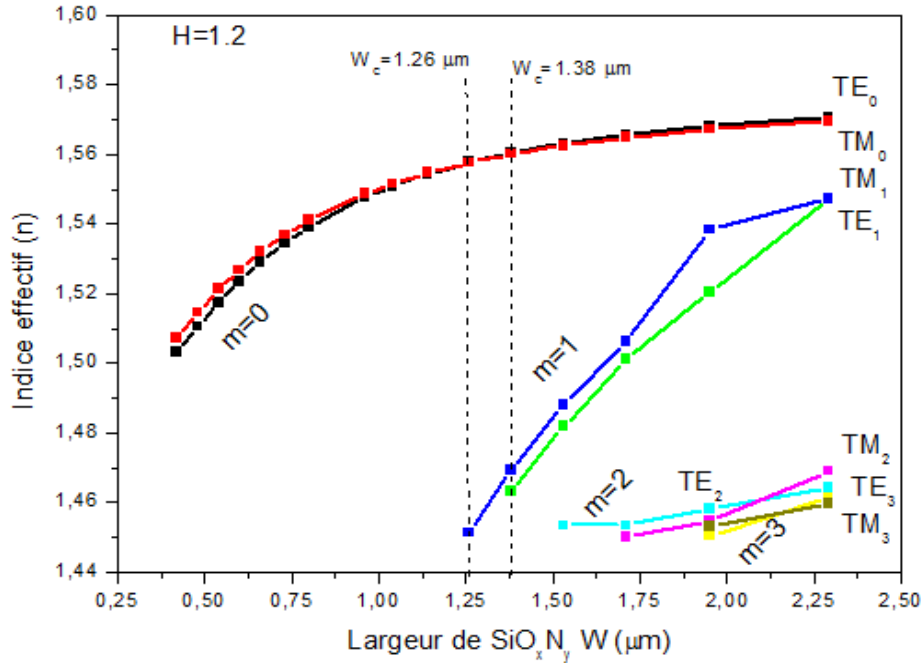


Fig. III.14 : Evolution de la l'indice effectif en fonction de la largeur W , pour $H=1.2$.

D'après cette figure, nous constatons que l'indice effectif des deux modes TE et TM augmente progressivement lorsque la largeur W du film guidant croît. Il s'approche de la valeur 1.60 qui correspond à l'indice de réfraction de la couche guidante SiO_xN_y . Nous remarquons également que la structure supporte de plus en plus des modes guidés avec l'augmentation de la largeur W du film du guidant.

A partir de ces courbes, nous pouvons déterminer la largeur W de coupure associée à chaque mode. Pour que notre structure soit monomode, il faut que la largeur W du film guidant SiO_xN_y soit inférieure à 1.26 µm dans le cas de polarisation TM et inférieure à 1.38µm dans le cas d'une polarisation TE, au-delà de ces deux largeurs la structure devient multi mode.

B) Pour une géométrie de la largeur $W=1.4$ µm :

La variation de l'indice effectif de la structure du guide d'onde en fonction de la largeur W de la couche guidante SiO_xN_y , d'une hauteur $H = 1.4$ µm, est illustrée sur la figure (III.15).

D'après cette figure, nous remarquons que le caractère monomode de la structure est obtenu lorsque la largeur de la couche guidante de SiO_xN_y est inférieure à 0.58 µm pour les deux cas de polarisation TE et TM.

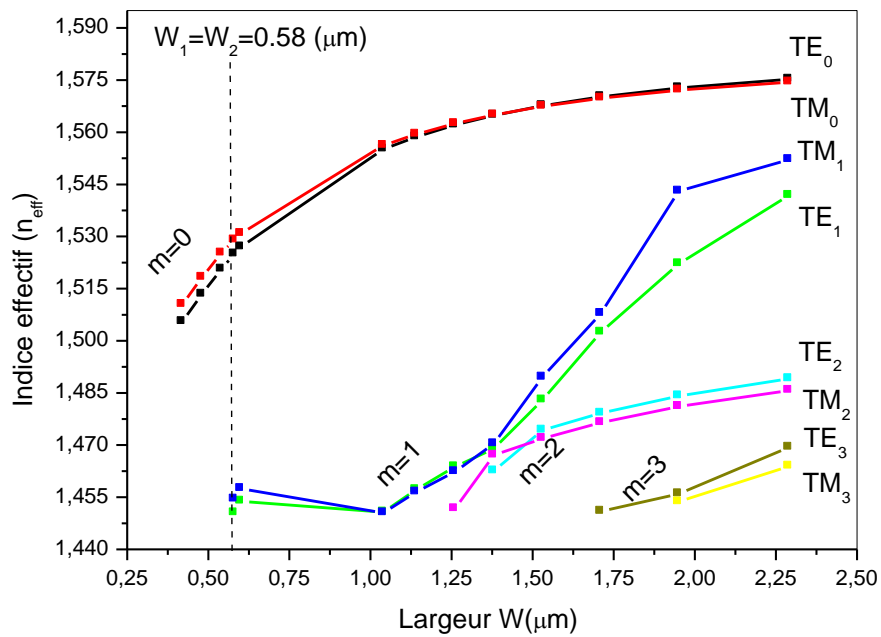


Fig. III.15 : Evolution de la l'indice effectif en fonction de la largeur W , pour $H=1.4$.

C) Pour une géométrie de la largeur $W=1.6 \mu\text{m}$:

La figure (III.16), illustre l'évolution de l'indice effectif de la structure en fonction de la variation de la largeur W de la couche guidante de SiO_xN_y , d'une hauteur $H= 1.6 \mu\text{m}$. Cette figure montre, que le dispositif du guide d'onde supporte de plus en plus les modes guidés lorsque la largeur de la couche guidante de SiO_xN_y de notre guide d'onde augmente, et la structure devient multi modes.

Le caractère monomode de notre modèle a été obtenu avec une largeur de SiO_xN_y inférieur à $0.54 \mu\text{m}$ pour une polarisation transverse électrique (TE) et inférieure à $0.48 \mu\text{m}$ lorsque la polarisation est magnétique (TM), au-delà de ces épaisseurs la structure devient multi mode.

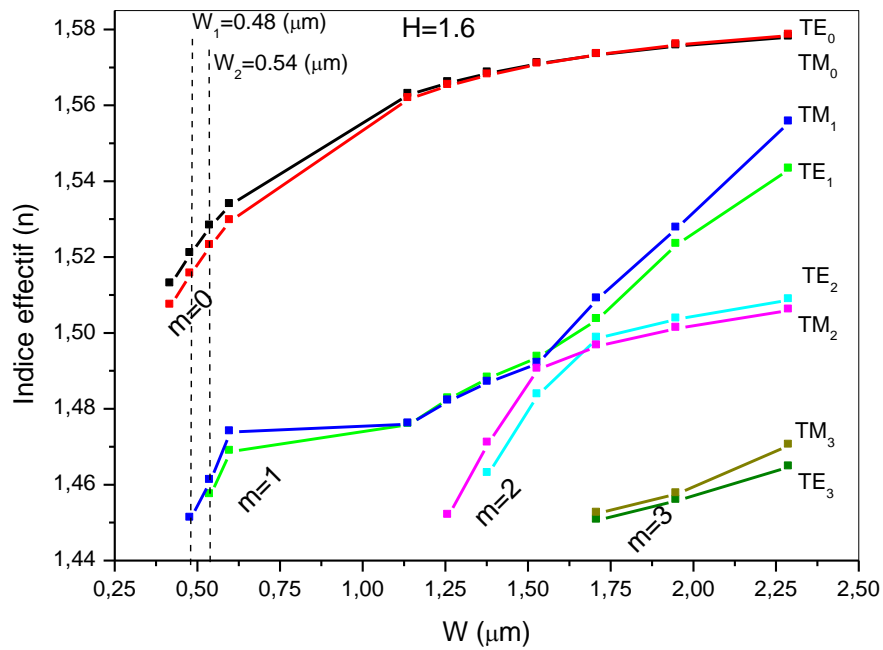


Fig. III.16 : Evolution de la l'indice effectif en fonction de la largeur W , pour $H=1.6$.

5. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons optimisé les dimensions d'un guide d'onde en arête symétrique, dans un premier cas, pour avoir un guide d'onde d'une biréfringence nulle ($n_{TE} - n_{TM} = 0$). Dans le deuxième cas, pour obtenir un guide d'onde optique en arête de caractère monomode pour les deux polarisations TE et TM, afin de limiter les pertes de propagation due au chevauchement des impulsions dans le guide, et donc provoquer une perte d'information.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le but de ce travail est d'optimiser les dimensions d'un guide d'onde en arête à base du matériau SiO_xN_y , dans un premier temps, nous avons étudié l'influence de la géométrie du guide d'onde pour que la condition $\Delta n=0$ soit vérifiée.

Puis, pour obtenir un guide d'onde à caractère monomode, pour les deux polarisations TE et TM, afin de limiter les pertes de propagation dû aux pulsations chevauchantes dans le guide d'onde, et par conséquent causé une perte d'information.

L'essentiel de notre travail porte sur l'étude des propriétés géométriques et optiques des guides d'onde en arête à base de matériau de SiO_xN_y .

Les résultats de simulation trouvés dans notre travail ont montré que l'indice effectif de la structure augmente lorsque la largeur W de la couche guidante de SiO_xN_y croît. Ces résultats ont indiqué également que le signe de la biréfringence de l'indice effectif ($n_{TE} - n_{TM}$) s'inverse avec la croissance de la largeur W , et par conséquent, la biréfringence s'annule en deux points. On dit, que le guide est insensible à la polarisation.

L'étude du caractère monomode de notre structure a montrée que le guide supporte de plus en plus des modes guidés avec l'augmentation de la largeur W du film guidant de SiO_xN_y . Cette étude nous a permis de définir les conditions de coupure Monomode/Multimode pour les deux polarisations TE et TM de chaque structure étudiée. Les dimensions trouvées ont montré que la largeur W_c pour les deux polarisations TE et TM a diminuée lorsque la hauteur H du film guidant de SiO_xN_y augmente.

Nous pouvons améliorer ce travail en tenant compte les perspectives suivantes :

- Etudier une structure de guide d'onde en arête asymétrique à base du matériau oxynitride de silicium (SiO_xN_y).
- Etudier une structure de guide d'onde rectangulaire à base du matériau de SiO_xN_y .

Bibliographie

Bibliographie

- [1] **C-T. Lin**, "*Athermal metal-free planar waveguide concave grating demultiplexer*", Optics Communications, Vol. 284, pp. 195–200, 2011.
- [2] **C-T Lin**, Y-T Huang, J-Y Huang, *A planar waveguide concave grating employing dielectric mirrors* " Optics Communications, Vol. 281, pp. 1072-1076, 2008
- [3] **C.K. Wong, Hei Wong, C.W. Kok, M. Chan**, "*Silicon oxynitride prepared by chemical vapor deposition as optical waveguide materials*", Journal of Crystal Growth, Vol. 288, pp. 171-175, 2006.
- [4] **Ch. Gorecki**, "*Optimization of plasma-deposited silicon oxynitride films for optical channel waveguides*", Optics and Lasers in Engineering, Vol. 33, pp. 15-20, 2000.
- [5] **M. Fadel, R-B. Gentemann**, "*Coupling tolerances of high-index silicon-oxynitride waveguides with small bending radii*", *Int. J. Electron. Commun. (AE-)*, Vol. 61, pp. 168-171, 2007.
- [6] **K. Worhoff, P-V. Lambeck, and A. Driessen**, "*Design, Tolerance Analysis, and Fabrication of Silicon Oxynitride Based Planar Optical Waveguides for Communication Devices*", Journal of lightwave technology, Vol. 17, no. 8, pp. 1401-1407, august 1999.
- [7] **R-M. de Ridder, K. Worhoff, A. Driessen**, "*Silicon Oxynitride Planar Waveguiding Structures for Application in Optical Communication*", *IEEE journal of selected topics in quantum electronics*, vol. 4, no. 6, pp. 930-937, november/December, 1998
- [8] **R. Mahamdi, M. Boulesbaa, L. Saci, F. Mansour, C. Molliet, M. Collet and P. Temple-Boyer**, "*Ellipsometric and Rutherford back scattering spectroscopy studies of SiOxNy films elaborated by plasma-enhanced chemical vapour deposition*", Journal of Nanoscience and Nanotechnology, Vol.11, no.10, pp. 9118-9122(5), 2011.
- [9] **H. Fujiwara**, "*Spectroscopic Ellipsometry*" Japanese Edition, Copyright 2003, ISBN 4 621072536, pp. 177-181
- [10] **S. Naskar**, "*Deposition and characterization of silicon oxynitride material for the fabrication of optical waveguides*", Thesis of doctorat, Case Western Reserve University, 2005
- [11] **F. Meriche**, "*Structuration 1D et 2D de matériaux diélectriques par ablation laser nanoseconde : Applications aux couches minces et monocristaux de LiNbO₃ et couches minces de TiO₂*" Thèse de doctorat, Université de Constantine, 2008.
- [12] **F. Choueikani**, "*Structuration 1D et 2D de matériaux diélectriques par ablation laser nanoseconde : Applications aux couches minces et monocristaux de LiNbO₃ et couches minces de TiO₂*", thèse de doctorat, université de Saint-Etienne, 2008.
- [13] **D. Grenier**, "*Electromagnétique et transmission des ondes*" Département de

- génie électrique et de génie informatique, Université de Laval, Québec, 2012.
- [14] **RSoft CAD 5.1.9**, “*User guide*” RSoft Design Group, 200 Executive Blvd. Ossining, NY 10562
- [15] **F. Rebib**. “*Etude structurale, optique et électrique de couches minces d’oxynitride de silicium déposées par pulvérisation cathodique radiofréquence réactive*” These Docteur 2006
- [16] **F. Benaissa** “*Etude et Simulation de la Propagation des Ondes Electromagnétiques dans les guides à Cristaux Photoniques-Application aux Fibres Optiques*” Magister en Physique Option : Physique Electronique 2012 .2013
- [17] **R.Boudelal**. “*Etude de couplage d’un guide d’ondes avec une fibre optique application en optique intégrée pour les telecoms optiques*” Présenté en vue de l’obtention du diplôme de magister en electronique option : telecommunications spatiales 2010
- [18] **R.A. Soref, J. Schmidtchen, K. Petermann**, “*Large single-mode rib waveguides in Ge-Si and Si-on-SiO₂*,”/EEE Journal of Quantum Electronics, Vol. 27, No. 5 August 1991, pp. 1971-1974 .
- [19] **S. P. Pogossian, L. Vescan, and A. Vonsovici**, “*The single-mode condition for semiconductor rib waveguides with large crosssection*”, Journal of light wave Technology, Vol. 16, No. 10, October 1998, pp. 1851-1853.

Résumé :

Ce travail s'intéresse à l'étude et le dimensionnement d'un guide d'onde en arête à base du matériau de SiO_xN_y . Cette étude montre que la biréfringence de l'indice effectif s'annule en deux points en fonction de la largeur W du film guidant. Donc, le guide d'onde est insensible à la polarisation quelque soit TE ou TM. Cette étude nous a permis d'optimiser les dimensions du guide d'onde en arête pour avoir un guide d'onde à caractère monomode qui limite les pertes de propagation.

Abstract :

This work interest the study of SiO_xN_y thin film based **arete** optical waveguide. This study show that the birefringence of the effective index annnn in two ;;;;;;. as a function of W width of the waveguiding film. Therefore, the optical waveguide is insensible to the polarization TE or TM. This study permitted us also to optimize the dimensions of the arete optical waveguide for a single mode waveguide to reduce the losses of propagation.