

**ÉTUDES DES PARAMETRES DES LASERS  
A DOUBLE HETEROSTRUCTURE**  
 $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}_y\text{Sb}_{1-y}/\text{Ga}_{1-x'}\text{In}_x'\text{As}_y'\text{Sb}_{1-y'}/\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}_y\text{Sb}_{1-y}$

**A. Messanh MOHOU<sup>\*</sup>, Milohum M. DZAGLI et  
Komlan S. GADEDJISSO-TOSSOU**

*Laboratoire de physique des composants à semi-conducteurs (LPCS),  
Département de physique, Université de Lomé, BP 80075 Lomé - TOGO*

(Reçu le 08 Avril 2008, accepté le 24 Septembre 2008)

---

\* Correspondance et tirés à part, e-mail : *mmagbeko@yahoo.fr*

## **RÉSUMÉ**

La théorie électromagnétique de la double Hétérostructure (DH) laser  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}_y\text{Sb}_{1-y}/\text{Ga}_{1-x'}\text{In}_x'\text{As}_y'\text{Sb}_{1-y'}/\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}_y\text{Sb}_{1-y}$  a été réalisée à partir des équations de MAXWELL. Elle a permis d'établir l'expression du facteur de confinement  $\Gamma$ , l'expression du champ électrique à l'intérieur de la diode laser.

En particulier, nous montrons qu'une diminution de la composition en Aluminium modifie l'intensité du champ à l'intérieur de DH laser.

**Mots-clés :** *Hétérostructure, diode laser, Équations de Maxwell, champ électrique, confinement*

## **ABSTRACT**

**“Study of Parameters of Double Heterostructure lasers  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}_y\text{Sb}_{1-y}/\text{Ga}_{1-x'}\text{In}_x'\text{As}_y'\text{Sb}_{1-y'}/\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}_y\text{Sb}_{1-y}$ ”**

The electromagnetic theory of the double Heterostructure (DH) laser  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}_y\text{Sb}_{1-y}/\text{Ga}_{1-x'}\text{In}_x'\text{As}_y'\text{Sb}_{1-y'}/\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}_y\text{Sb}_{1-y}$  has been realised using the MAXWELL equations. This has permitted the establishment of an expression for the confinement factor  $\Gamma$ , and the expression for the electric field at the interior of the laser diode.

In particular, we show that a variation of aluminium composition modifies the electric field intensity.

**Keywords :** *Heterostructure, diode laser, Maxwell equations, Electric field, confinement*

## I - INTRODUCTION

Le moyen infrarouge (MIR) couvrant la gamme de longueur d'onde de 2 à 12 $\mu$ m est un domaine spectral présentant de nombreux intérêts.

La zone 3-5 $\mu$ m est aujourd'hui sollicitée pour un grand nombre d'applications car elle constitue une partie de la fenêtre de transparence de l'atmosphère pour les transitions optiques. Les raies d'absorptions de nombreux gaz polluants présents dans ce domaine spectral peuvent être analysées par spectroscopie d'absorption à diodes lasers permettant ainsi le contrôle de pollution dans l'atmosphère [1-5]. Il est bien connu que les molécules d'hydrocarbures et autres gaz (CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub>, NO et NO<sub>2</sub>) absorbent le rayonnement infrarouge au-dessus de la gamme spectrale. Les méthodes d'analyse des gaz pour le contrôle processus technologiques et de la surveillance de l'environnement sont élaborées sur la base des émetteurs IR [6]. Cette gamme permet aussi d'établir des communications optiques et d'autres applications comme le diagnostic médical non invasif en médecine.

L'optimisation de ces structures laser reste d'actualité [7,8]. Elle porte essentiellement sur la réduction des courants de seuil, l'augmentation du rendement quantique, le fonctionnement en continu.

Cette optimisation passe par la détermination précise des paramètres caractéristiques de la DH laser. La connaissance de ces paramètres est indispensable pour faire une modélisation réaliste des performances des DH lasers [9-11]. Celle-ci présente un double avantage :

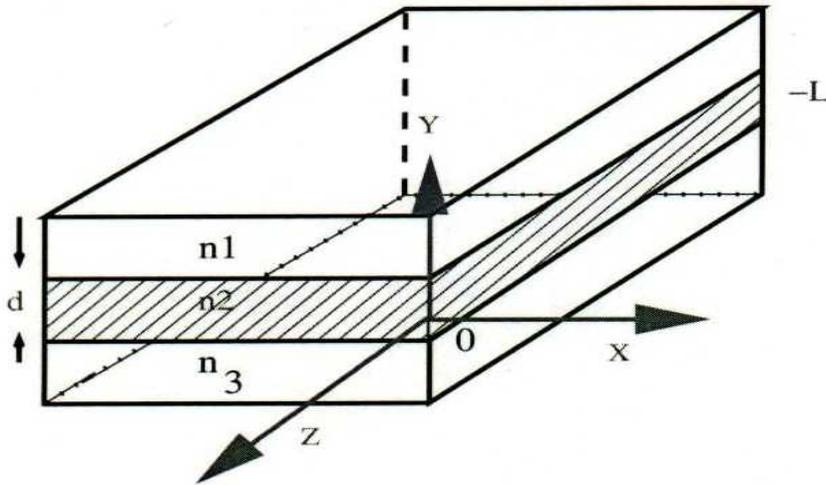
1. améliorer la technologie de préparation de la double Hétérostructure ;
2. mieux comprendre le fonctionnement du dispositif ainsi que les phénomènes physiques qui se réalisent dans la zone active.

L'étude de l'influence des paramètres caractéristiques de la DH laser à ruban de type  $Ga_{1-x}Al_xAs_ySb_{1-y}/Ga_{1-x}In_xAs_ySb_{1-y}/Ga_{1-x}Al_xAs_ySb_{1-y}$  sur la distribution spatiale du rayonnement émis constitue l'objet de cet article. Ces paramètres sont : l'épaisseur  $d$  de la zone active, les indices  $n_2$  et  $n_1$  de la couche active et des couches de confinement et la longueur d'émission du laser.

## II - STRUCTURE DU GUIDE DIELECTRIQUE

Dans cette étude, nous considérons la structure laser comme un guide optique multicouche à travers lequel peuvent se propager des modes optiques que nous définirons à partir des équations de *MAXWELL* [12].

Du point de vue optique, la double Hétérostructure laser peut être représentée par la superposition de trois couches d'indice de réfraction  $n_1$ ,  $n_2$  et  $n_3$  (Figure 1).



**Figure 1 :** Double Hétérostructure laser

L'indice de réfraction  $n_2$  de la couche centrale est supposé être supérieur aux indices de réfraction des deux couches latérales.

La structure se comporte donc comme une structure guidante.

La couche d'indice  $n_2$  et d'épaisseur  $d$  représente la couche active où se produit l'inversion de population et les couches adjacentes sont les couches de confinement.

On admettra que dans chaque zone, l'indice est constant ; on a donc un système à saut d'indice [13-16].

Les plans  $Z = 0$  et  $Z = -L$  correspondent aux faces semi réfléchissantes. La face  $Z = 0$  rayonne dans le demi-espace  $Z > 0$ . La répartition de l'énergie dans le plan  $Z = 0$  caractérise la loi d'illumination dans le plan de sortie, elle est aussi appelée champ proche.

### III - FACTEUR DE CONFINEMENT

Le facteur de confinement  $\Gamma$  caractérise l'étalement de la lumière dans la direction OY. On le définit comme étant le rapport de l'intensité lumineuse dans la couche active sur l'intensité aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur de la zone active. Il sera donné par la relation :

$$\Gamma = \frac{\int_{-d/2}^{+d/2} |E_x|^2 dy}{\int_{-\infty}^{+\infty} |E_x|^2 dy} \quad (1)$$

C'est un paramètre optique qui caractérise le confinement de la lumière dans la zone active de la double Hétérostructure laser.

L'expression de facteur  $\Gamma$  dans une structure non symétrique (**Figure 1**) peut s'écrire [17] :

$$\Gamma = \left[ 1 + \frac{K_{y2}^2 \left[ (K_{y2}^2 + K_{y1}^2) K_{y1} + K_{y3} (K_{y2}^2 + K_{y3}^2) \right]}{K_{y1} K_{y3} (K_{y2}^2 + K_{y3}^2) \left[ (K_{y2}^2 + K_{y1}^2) K_{y2} d + Q \right]} \right] \quad (2)$$

$$\text{avec } K_{y1} = \sqrt{\beta^2 - \varepsilon_1 \frac{w^2}{C^2}}, \quad K_{y2} = \sqrt{\varepsilon_2 \frac{w^2}{C^2} - \beta^2} \quad \text{et} \quad K_{y3} = \sqrt{\beta^2 - \varepsilon_3 \frac{w^2}{C^2}},$$

où  $w$  est la fréquence angulaire du champ électromagnétique;

$C$  est la vitesse de propagation de la lumière dans le vide;

$K_{yp}$ : vecteur d'onde associé à la propagation de l'onde électromagnétique dans le milieu  $p$  de permittivité  $\varepsilon_p$ .

$$\text{Et } Q = (K_{y2}^2 - K_{y1}^2) \sin(K_{y2} d) \cos(K_{y2} d) + 2K_{y1} K_{y2} \sin^2(K_{y2} d) \quad (3)$$

Dans le cas d'une structure symétrique ( $n_1 = n_3$ ), la répartition du champ dans le guide devient :

$$E_X \begin{cases} E_0 \cos(K_{y2} Y) \text{ pour } |Y| < \frac{d}{2} \\ E_0 \cos(K_{y2} \frac{d}{2}) \exp \left[ -K_{y1} \left( |Y| - \frac{d}{2} \right) \right] \text{ pour } |Y| > \frac{d}{2} \end{cases} \quad (4)$$

Le facteur de confinement d'une structure symétrique a pour expression :

$$\Gamma_s = 1 + \frac{\cos^2(K_{y2} \frac{d}{2})}{K_{y1} \left[ \frac{d}{2} + \frac{1}{K_{y2}} \sin(K_{y2} \frac{d}{2}) \cos(K_{y2} \frac{d}{2}) \right]} \quad (5)$$

Le modèle du guide symétrique a été utilisé dans de nombreuses études [18-22] sur les doubles Hétérostructure lasers à base de InGaAsP/InP/InGaAsP et GaAlAs/GaAs/ GaAlAs.

#### IV - RESULTATS ET DISCUSSION

Nous présentons dans cette partie les résultats de nos calculs et nous étudions l'influence des paramètres caractéristiques de la double Hétérostructure laser. L'étude théorique de la variation de l'intensité du champ électrique à l'intérieur de la double Hétérostructure laser  $Ga_{1-x}Al_xAs_ySb_{1-y}/Ga_{1-x}In_xAs_ySb_{1-y}/Ga_{1-x}Al_xAs_ySb_{1-y}$  nécessite la connaissance des indices de réfraction des alliages.

Les résultats de nos calculs d'indice à partir du modèle d'oscillateur simple [23-25] pour différentes compositions des alliages sont présentés dans le **Tableau 1**. Les courbes présentées dans ce paragraphe sont obtenues à partir des données du **Tableau 1**.

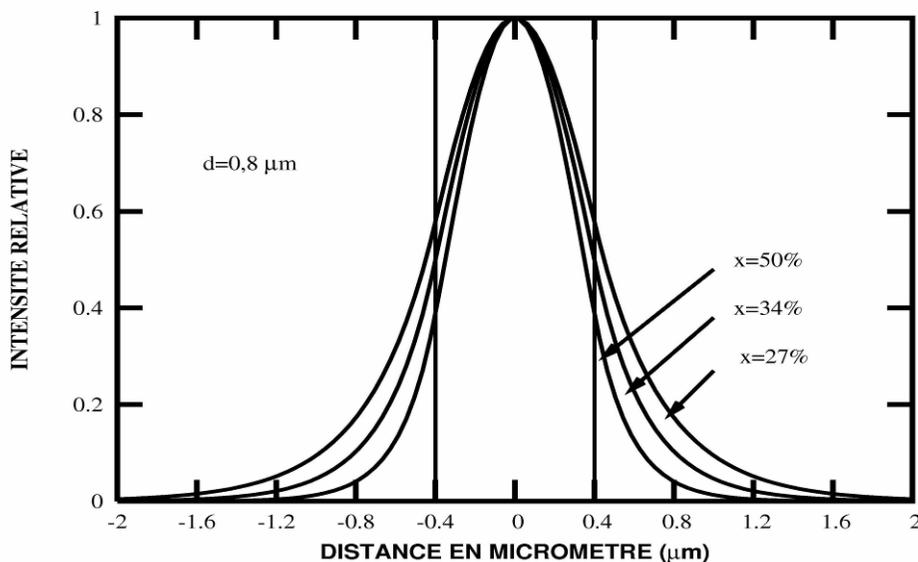
**Tableau 1 : Indice de réfraction à 300K**

$Ga_{0,83}In_{0,17}As_{0,15}Sb_{0,85}$	$Ga_{1-x}Al_xAs_ySb_{1-yx}$		
3,72 [26]	$y = 2,4 \%$	$y = 3 \%$	$y = 4,5 \%$
	$x = 27 \%$	$x = 34 \%$	$x = 50 \%$
	3,63	3,59	3,50

Les **Figures 2 et 3** montrent l'influence de l'épaisseur  $d$  de la couche active et de la composition  $x$  d'aluminium sur le confinement à l'intérieur de la couche active.

Sur la **Figure 2**, l'épaisseur de la couche active de  $0,8\mu\text{m}$  est gardée constante tandis que la composition en aluminium varie.

On note une réduction sensible du confinement lorsque  $x$  varie de 50 à 27 %. En effet, l'intensité dans la zone active est plus prononcée pour  $x = 50\%$  que pour  $x = 27\%$ . On en déduit donc que pour une épaisseur  $d$  donnée, plus  $x$  est faible, plus la fraction de l'énergie du mode se propageant à l'intérieur de la zone active est faible.



**Figure 2 :** Influence de la composition d'Aluminium sur le confinement de la lumière à l'intérieur de la couche active

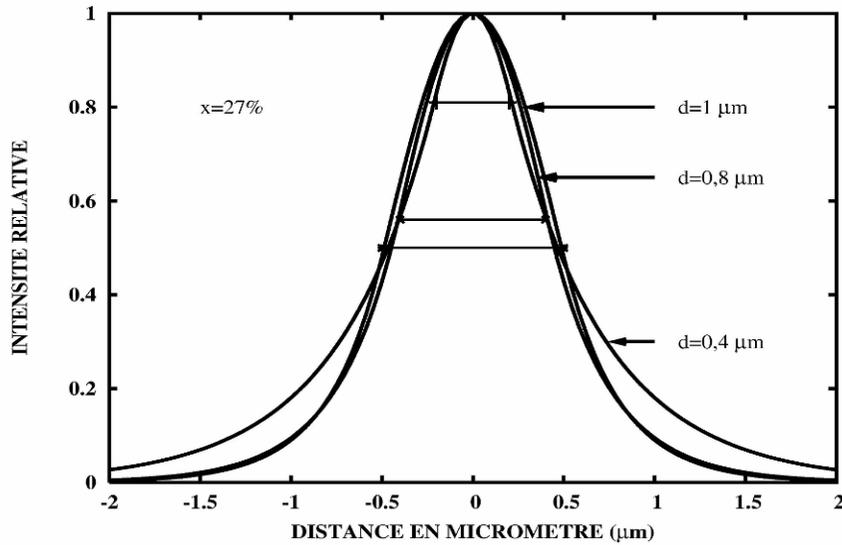
Ceci indique que la diminution de la composition en Aluminium modifie la répartition de l'intensité du champ à l'intérieur de la DH laser.

La **Figure 3** montre les variations de l'intensité du champ électrique à l'intérieur de la diode laser. La composition en Aluminium est gardée constante et vaut  $x = 27\%$ , tandis que l'épaisseur de la couche active varie.

Nous avons considéré trois cas : dans le premier  $d = 1\mu\text{m}$ , dans le second  $d = 0,8\mu\text{m}$  et enfin  $d = 0,4\mu\text{m}$ .

Pour  $d = 0,4\mu\text{m}$ , on note une diminution de l'intensité lumineuse à l'intérieur de la couche active.

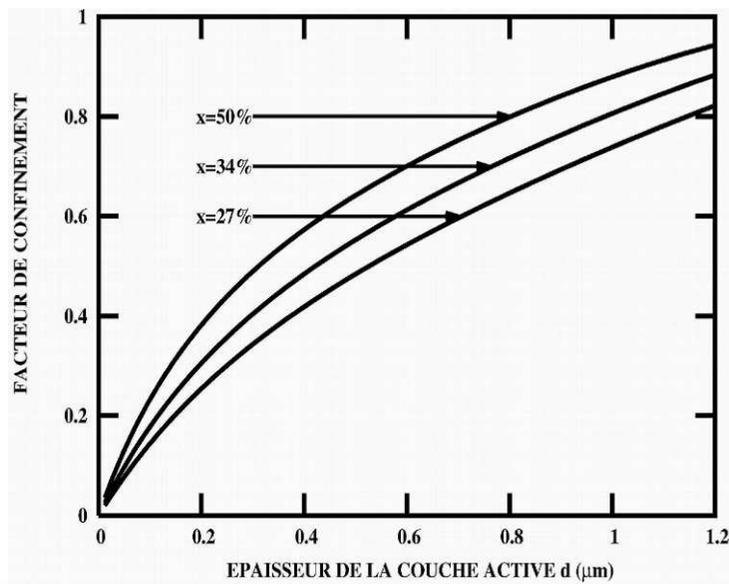
En effet, l'intensité lumineuse à l'intérieur de la couche active ayant pour épaisseur  $d = 0,4 \mu\text{m}$  est diminuée de 45 % par rapport à celle propagée dans la diode ayant une épaisseur de la couche active  $d = 1 \mu\text{m}$ . On en déduit que l'intensité et la divergence du rayonnement sont fortement influencées aussi bien par l'épaisseur de la zone active que par l'indice de réfraction.



**Figure 3 :** Influence de l'épaisseur  $d$  de la zone active sur le confinement de la lumière à l'intérieur de la couche active

### *Facteur de confinement*

Le facteur de confinement ( $\Gamma$ ) dépend de l'épaisseur  $d$  de la couche active. Son évolution en fonction de  $d$  est indiquée par la **Figure 4**, pour différentes concentrations  $x$  d'Aluminium de la couche de confinement  $G_{1-x}Al_xAs_ySb_{1-y}$ .  $\Gamma$  augmente avec l'épaisseur de la couche active ainsi qu'avec la concentration en Aluminium de la couche de confinement. On peut constater, pour  $d = 1 \mu\text{m}$ , les valeurs de  $\Gamma$  sont 0,74 ; 0,81 et 0,88 respectivement pour  $x = 27 \%$ , 50 % et 50 %.



**Figure 4 :** Variation du facteur de confinement  $\Gamma$  avec l'épaisseur de la couche active  $G_{0,83}In_{0,17}As_{0,15}Sb_{0,85}$  pour différentes concentrations en aluminium de la couche de confinement

## V - CONCLUSION

La théorie explique avec succès la variation de l'intensité du champ avec la composition des alliages et de l'épaisseur  $d$  de la couche active.

Une meilleure maîtrise des différents paramètres caractéristiques de la DH laser ainsi que leur rôle respectif devrait permettre d'améliorer la technologie voire le fonctionnement de la double Hétérostructure laser.

De telles études montrent, une fois de plus, l'importance du choix des paramètres caractéristiques des DH lasers en vue d'une application précise.

## RÉFÉRENCES

- [1] - P. W. FRANCE, S. F. CARTER, M.W. MOORE AND J. R. WILLIAMS, *Infrared Optical Materials and Fibers IV. SPIE*, Vol. 618 (1986) 51
- [2] - T. KANAMORI and S. SAKAGUCHI, *J. of Applied Physics*, Japan, Vol. 25 (1986) 468
- [3] - D. E. COOPER and R. E. WARREN, *J. of Optical Society, America*, Vol. 84 (1987) 470

- [4] - F. PITARD, E. TOURNIE, M. MOHOU, G. BOISSIER, J. L. LAZZARI, A. M. JOULLIE, C. ALIBERT, A. JOULLIE, E. GOARIN and J. BENOIT, *J Phys. III France I* (1991) 605-622
- [5] - M. T. Mc CULLOCH, N. LANGFORD and G. DUXBURY, *Applied optics* Vol. 44, N° 14 (2005) 2887
- [6] - M. AIDARALIEV, T. BEYER, N. V. ZOTOVA, S. A. KARANDASHEV, B. A. MATVEEV, M. A. REMENNYI, N. M. STUS', and G. N. TALALAKIN, *Semiconductors*, Vol. 34, N°7, (2000) 848–852. Translated from *Fizika i Tekhnika Poluprovodnikov*, Vol. 34, No. 7, (2000) 881–885.
- [7] - R. TEISSIER, D. BARATE, A. VICET, et A. N. BARANOV, *Appl. Phys. Lett.* 85, 2 (2004) 167
- [8] - L. SHTERENGAS, G. BELENKY, T. HOSODA, G. KIPSHIDZE, and S. SUCHALKIN, *Appl. Phys. Lett.* 93 (2008) 011-103
- [9] - P. BROSSON, J. BENOIT, A. JOUILLE and B. SERMAGE, *Electronics letters*, Vol. 23 (1987) 417
- [10] - J. BHAN, A. JOUILLE, H. MANI, A. M. JOUILLE and C. ALIBERT, *SPIE*, Vol. 866 (1987) 126
- [11] - A. JOULLIE, C. ALIBERT, H. MANI, F. PITARD, E. TOURNIE and G. BOISSIER, *Electronics Letters*, Vol. 24 (1988) 1076
- [12] - BORN and WOLF, *Principle of optics*, Ed. by pergamon Press, London (1970)
- [13] - M. J. ADAMS and M. CROSS, *Solid State Electronics*, Vol. 14 (1971) 865
- [14] - H. F. TAYLOR and A. YARIV, *Guided wave optics*, Proceeding of the IEEE, (1974) 62
- [15] - T. TAMIR, *Integrated optics*. Ed. by T Tamir. Springer Verlag, Berlin, (1975)
- [16] - D. MARCUSE, *Light transmission optics*, Ed. by Van Nostrand Reinhold, New York, (1972)
- [17] - M. MOHOU, Thèse de doctorat, Université Montpellier II, Juillet, (1990)
- [18] - Jr. H. C. CASEY, *J. of Applied Physics*, Vol. 49 (1978) 3684
- [19] - M. YANO, H. NISHI and M. TAKUSAGAWA, *IEEE J. Quantum Electronics*, Vol. 15 (1979) 571
- [20] - G. A. HOCKHAM, *Electronics letters*, Vol. 9 (1973) 389
- [21] - D. BOTEZ, *R. CA. Review*, Vol. 39 (1978) 577
- [22] - T. N. DANILOVA, A.N. IMENKOV, V. V. SHERSTNEV and Yu P. YAKOVLEV, *Semiconductors*, Vol. 34, N° 11 (2000) 1343–1350. Translated from *Fizika i Tekhnika Poluprovodnikov*, Vol. 34, N° 11 (2000) 1396–1403

- [23] - S. H. WEMPLE and M. DIDOMENKO, *J. physical Review*, B3 (1971) 1338
- [24] - A. F. DRAKIN, P. G. ELISEE and B. N. SVERDLOV, *Sov. Phys. Tech. Phys*, Vol. 26 (1981) 569
- [25] - A. JOULLIÉ, F. JIA HUA, F. KAROUTA, H. MANI and C. ALIBERT, in *Optical Fiber Sources and Detector*, SPIE, Bellingham, Vol. 587 (1985) 46
- [26] - M. A. MOHOU, *J. of the Institution of Engineers (India)*, Vol. 76 (1996) 81.