

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dédicace

Je dédie ce travail :

*A **ALLAH** le tout puissant, le clément le miséricordieux. Et à son prophète **MOHAMMED** paix et salut sur lui.*

A l'homme de ma vie, à mon exemple éternel, à celui qui a réussi à m'inspirer, à me donner confiance en moi et en l'avenir, à celui qui se sacrifie pour me voir heureuse, à mon cher père.

A celle qui m'a donné la vie, à la lumière de mes jours, à celle qui m'a accompagnée par ses prières, sa douceur, c'est la flamme de mon cœur et la source de mon bonheur, à ma chère mère.

Aux purs esprits de mes chers frères :

***Azzeddine** et sa femme **Saida**, **Elwardi** et sa femme **Akila**, **Moustafa**, **Aymen**.*

Aux étoiles sur la terre qui illuminent ma vie, à mes chères sœurs :

***Ghania** et son mari **Mohammed**, **Widad** et son mari **Adel**, **Ines**.*

*À ma très chère fille **Manissa***

*A mes anges : **Anfel**, **Salsabil**, **Malak**, **Sara**, **Abdeldjalil**, **Roudaina**.**Lodjaine***

*A celle qui m'aidait à réaliser ce travail : **Imen**, merci beaucoup.*

A tous ceux qui m'ont aimée et ne méritent jamais d'être oubliés.

Enfin, je veux dédier ce travail à qui était toujours à mes côtés, qui m'a beaucoup soutenu et encouragé, ma source de bonheur et de joie, que dieu te garde pour moi mon mari.

Heyam

Dédicace

A toute ma famille

Et

Mes amies

Imen

Remerciement

Nous tenons avant tout à remercier Allah de nous avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout de rêve.

*Nous tenons à remercier Monsieur **Dr Saad Eddine KHEMISSI**, pour avoir accepté de diriger ce mémoire, orienté, aidé et conseillé, pour le temps et les efforts qu'ils nous ont consacrés, ainsi que pour la richesse et la pertinence de ses remarques.*

*Nous tenons également à remercier madame **Nawal Hezile**, Chef de département physique des Matériaux, pour son soutien et son aide.*

*Nous adressons nos sincères remerciements à tous **les professeurs**, intervenants et surtout le professeure **Djamaai** pour ses efforts pour expliquer à nous le logiciel de Silvaco et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et ont guidé nos réflexions et ont accepté à nous rencontrer et répondre à nos*

questions durant nos recherches.

*Nous remercions nos chers **parents**, qui ont toujours été là pour nous « Vous avez tout sacrifié pour vos enfants n'épargnant ni santé ni efforts. Vous nous avez donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance. Nous Sommes redevables d'une éducation dont nous sommes fières ».*

*Nous remercions nos **sœurs** et nos **frères** pour leur encouragement. Nous remercions très spécialement nos chères **amies**, qui sont toujours là pour nous, leur soutien inconditionnel et leur encouragement, pour les moments de détente qui ont parsemé ces cinq années de souvenirs inoubliable. Pour leur sincère amitié et confiance.*

Sommaire

Chapitre I : Etude Bibliographique

| | |
|--|----|
| I-1 Introduction | 3 |
| I-2 Historique | 4 |
| I.4 : Semi-conducteurs extrinsèques | 5 |
| I.4.2 Dopage de type N | 7 |
| I.4.3 Jonction P-N à semi-conducteur | 9 |
| I-5 Recombinaison | 10 |
| I-5-1 Recombinaison radiative | 10 |
| I-5-2 Recombinaison non radiative | 11 |
| I.6 La luminescence | 11 |
| I.6.1 l'électroluminescence | 12 |
| I-7 Diode électroluminescente | 13 |
| I-7.1 Définition | 13 |
| I-7.2 Taille de la LED | 13 |
| I-7.3 Structure d'une diode électroluminescente | 13 |
| I-7.4 Principe de fonctionnement de LED | 14 |
| I-7.5 LED à homo-jonction | 15 |
| I-7.6 LED à hétérojonction | 16 |
| I-7.7 LED à puits quantique | 17 |
| I.8 Diodes électroluminescentes dans le domaine visible | 17 |
| I.8.1 Diodes électroluminescentes bleues | 18 |
| I.9 Classification des diodes électroluminescentes | 20 |
| I.9.1. Classement selon la puissance | 20 |
| I.9.2. Classement selon le spectre d'émission | 21 |
| I.10. Extraction de la lumière émise | 21 |
| I.11 Applications des LEDs Visibles | 22 |
| I.11-1 Affichage | 23 |
| I.11.2 Signalisation | 25 |
| I.14.3 Éclairage public | 27 |
| I.12 Les couleurs de la lumière émise (LED) | 28 |
| I.13 Les avantages et les inconvénients de LEDs | 29 |
| I.13.1. Les avantage | 29 |
| I.13.2. Les inconvénients | 29 |

| | | |
|----------------|--|-----------|
| I.14 | Caractéristiques des sources lumineuses | 30 |
| I.14.1. | La notion de température de couleur..... | 30 |
| I.14.2. | Indice de rendu de couleur IRC | 30 |

Chapitre II : Logiciel de simulation

| | | |
|----------------|---|-----------|
| II .1. | Introduction | 33 |
| II.2. | Tcad-Silvaco..... | 33 |
| II .3 | module ATHENA | 36 |
| II.4. | Atlas | 37 |
| II.4.1. | Deckbuild | 39 |
| II.4.2. | TonyPlot | 39 |
| II.5. | Travailler avec Atlas | 41 |
| II.5.1. | Spécification de la structure..... | 41 |
| II.5.2. | Spécification des paramètres des matériaux et modèles physique | 45 |
| II.5.3. | Sélection de la méthode numérique | 46 |
| II.5.4. | Spécification de Solution | 46 |
| II.5.5. | Analyse des Résultats..... | 47 |

Chapitre III : Résultats et Interprétations

| | | |
|-----------------|--|-----------|
| III.1: | Introduction | 49 |
| III.2 | Hétérojonction GaN/InGaN..... | 49 |
| III.3: | Description de la structure simulée | 50 |
| III.4. | Paramètres de la simulation | 51 |
| III.5 | Puits de potentiel..... | 51 |
| III.6 : | Résultats de la simulation | 52 |
| III.6.1 | Programme de simulation | 52 |
| III.6.2 | Caractéristique P-V | 53 |
| III.6.3: | Spectre d'émission | 53 |
| III.6.4: | Puissance optique fournit..... | 54 |
| III.6.5: | Distribution de concentration des électrons en fonction de l'épaisseur | 55 |
| III.7: | Effet de la concentration de l'indium sur le spectre d'émission | 56 |

| | |
|--|-----------|
| III.8 : Effet de quelques paramètres sur la puissance optique..... | 59 |
| III.8.1 : Effet de la surface sur la puissance optique..... | 59 |
| III.8.2 : Effet du dopage de la région P sur la puissance lumineuse..... | 59 |
| III.8.3 : Effet du dopage de la région N sur la puissance lumineuse | 59 |
| III.9 Conclusion | 63 |
| Conclusion générale | 65 |
| Référence..... | 68 |
| Annexe | 70 |
| Résumé | 73 |

Introduction générale

Introduction générale

L'éclairage est un élément essentiel à l'activité économique dans notre société moderne. Cependant, cet éclairage consomme beaucoup d'électricité qui est souvent produite par des centrales thermiques polluantes. C'est pour cette raison qu'une solution permettant de réduire la consommation énergétique est souhaitable d'un point de vue économique et environnemental.

L'ampoule à incandescence est le composant dominant utilisé pour l'éclairage depuis plus d'une centaine d'années malgré une efficacité atteignant à peine 17 lumens par watt [1]. Aujourd'hui, une nouvelle source d'éclairage permettant de réduire la consommation électrique et donc la production de gaz à effet de serre est disponible ; on parle de SSL « Solid-State Lighting », autrement dit d'éclairage par source à l'état solide : Il s'agit en fait d'utiliser des composants à semiconducteur classiques de l'optoélectronique : les diodes électroluminescentes blanches à haute intensité (LEDs ou Light Emitting Diodes), leurs efficacités énergétiques, leur fiabilité et leurs durées de vie très longues comparativement aux ampoules incandescentes, sont à l'origine de leur succès.

Autrefois utilisées uniquement comme indicateurs sur des panneaux de contrôle (LED faible puissance), les LEDs (haute intensité) trouvent aujourd'hui des applications dans plusieurs domaines tels que les panneaux de signalisation routière, les phares d'automobile ou les lampes pour éclairage domestique, et cela grâce aux progrès technologiques des semi-conducteurs III-V qui leur permettent désormais de produire des niveaux d'éclairage supérieurs aux modèles précédents. Dans cette famille, l'InGaN apparaît à l'heure actuelle comme le matériau le plus prometteur pour l'émission de lumière visible. L'intérêt porté à ce matériau se trouve accru depuis l'avènement des LEDs bleues ou violet à base de puits quantiques InGaN qui a permis d'ouvrir la voie à la réalisation de sources de lumière blanches de bonne efficacité lumineuse. En revanche, sources d'éclairage électronique, leur maîtrise requiert plusieurs savoir-faire allant de l'optique à l'électronique en passant par la thermique [2].

L'objectif de notre travail dans ce mémoire est la conception et l'étude par simulation des LEDs à base de InGaN émis dans le bleu, en utilisant le logiciel SILVACO pour simuler une structure LED à multi-puits quantiques InGaN/GaN qui est considéré comme la base de la réalisation des LEDs blanches puissantes.

Ce manuscrit est constitué de trois chapitres, il est organisé comme suit :

Le premier chapitre est consacré à l'étude bibliographique des semi-conducteurs et des diodes électroluminescentes à savoir leurs structure, leur principe de fonctionnement, les caractéristiques ,les performances et les différents types de ces sources lumineuses qui les rendent attractive pour l'éclairage, ainsi que les étapes et les procédés de fabrication.

Dans le deuxième chapitre, nous avons présenté le logiciel de simulation Silvaco, ses modules et outils de simulation, nous décrirons ensuite les différentes étapes et instructions à la simulation de notre structure LED à base de puits quantique InGaN/GaN,

Dans le troisième chapitre, nous nous intéresserons à la simulation électrique de la structure LED étudiée. Cette simulation électrique se fera au moyen de l'outil « Atlas » qui permet de prédire le comportement électrique du composant électronique.

Enfin nous terminerons notre travail par une conclusion générale où seront rassemblés nos principaux résultats et perspectives du travail que nous avons effectué.

***Chapitre I : Etude
Bibliographique***

I-1 Introduction

Une diode électroluminescente est un dispositif issu de la technologie de semi-conducteurs, qu'émet de la lumière lorsqu'un courant électrique la traverse. La diode produit une lumière quasi monochrome d'une longueur d'onde donnée dépend du gap de la matière utilisée.

I-2 Historique

La première émission de lumière par un semi-conducteur datée de 1907 et fut découverte par H. J. Round[3]. Quelques années après, en 1927, O. V. Losev a déposé le premier brevet de ce qui sera nommé énormément plus tard, une diode électroluminescente. Ce n'est qu'en 1962 que la première LED rouge est créée par Nick Holonyak Jr et S. Bevacqua. Durant quelques années, les chercheurs ont cru devoir se limiter à quelques couleurs telles que le rouge, le jaune ou le vert. Dans les années 90, la technologie des semi-conducteurs InGaN permirent la création de LED bleue, et donc par la suite de LED blanches ^[2]. Cette importante avancée fut le point de départ de nouvelles applications majeures comme l'éclairage, les écrans de téléviseurs et d'ordinateurs.

I-3 Composition générale d'une LED

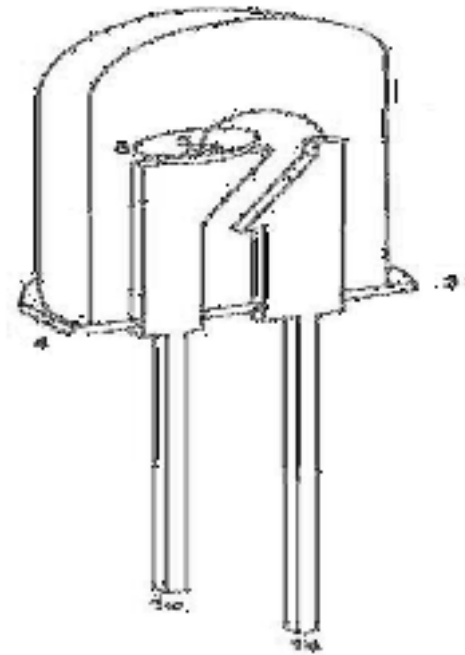
Une LED se présente sous forme de composant à monter en surface (SMD) ou d'un composant à piquer. Elle est constituée des éléments, détaillés ci-dessous et présentés par la figure I-1.

La puce de la diode est connectée aux électrodes, entourée par un réflecteur et encapsulée dans une résine époxy en silicone (pour les diodes haute puissance).

L'époxy peut être coloré de la couleur de la LED pour faciliter la reconnaissance. La diode à monter en surface peut être chapeautée par une lentille en fonction des applications souhaitées, dans la diode à piquer c'est l'époxy qui fait office de lentille.

Comme le montre sur la figure, ce composant peut être encapsulé dans divers boîtiers destinés à canaliser le flux de lumière émis de façon précise : cylindrique à bout arrondi en quelques millimètres de diamètre, cylindrique à bout plat, rectangulaire, sur support soudé, en technologie traversant ou à monter en surface.

L'enveloppe transparente, ou capot, est généralement en résine époxy, parfois colorée ou recouverte de colorant.



1a : anode (longue)

1c : cathode (courte)

2 : bord de la LED arrondi

3 : bord de la LED avec encoche

4 : lentille (boitier coloré ou transparent)

5 : puce (émet la lumière)

6 : coupelle réflectrice (permet de diriger les rayons lumineux)

Figure I. 1 : Les différents composants d'une LED [4]

I.4 : Semi-conducteurs extrinsèques

Lorsqu'on ajoute à un semiconducteur intrinsèque un très faible taux d'impureté (de l'ordre d'un atome étranger pour 10^4 à 10^8 atomes du cristal), on dit que le semi-conducteur extrinsèque ou dopé par des impuretés spécifiques lui conférant des propriétés électriques adaptées aux applications électroniques (diodes, transistors, etc....) et optoélectroniques (émetteurs et récepteur de lumière, etc....). Dans un matériau pur, on introduit des impuretés par dopage. Pour que celui-ci soit contrôlable, il faut que le degré de pureté initial global soit très supérieur au taux du dopage. [5]

I.4.1. Dopage de type P

On introduit dans le réseau des impuretés trivalentes telles que du B, Al, Ga, In. Il manque à l'impureté un électron de valence pour assurer les quatre liaisons avec les atomes du semiconducteur voisin. Un faible apport d'énergie (0,05 eV) suffit pour qu'un électron d'un silicium voisin soit capté par l'impureté : il y a formation d'un trou peu lié et donc mobile. Les atomes trivalents (accepteurs) deviennent des ions négatifs par capture d'un électron. Compte tenu des taux de dopage, ces trous sont beaucoup plus nombreux que les porteurs intrinsèques du cristal pur.

La conduction de type P(positive) est assurée par des trous. En fait, les électrons participant aux liaisons sont indiscernables les uns des autres. Tout ce passe alors comme si un des atomes de semiconducteur voisin avait cédé un électron à l'atome trivalent, créant ainsi un trou dans le cristal de silicium.

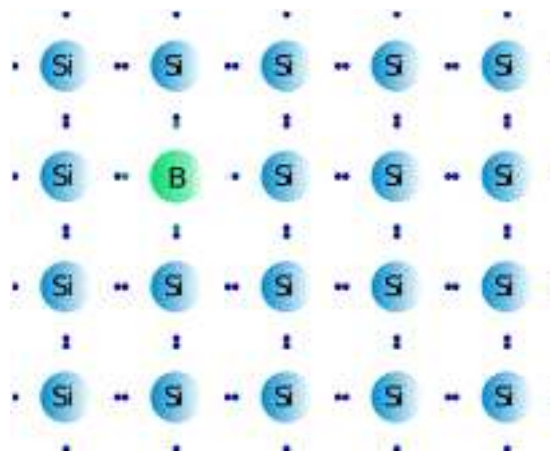


Figure I.2 : Libération d'un trou par le Bore dans un réseau du Silicium

L'atome de étrangère qui capte un électron est appelé accepteur, il a perdu sa neutralité pour devenir un ion négatif fixe. A la température ambiante, la quasi-totalité des atomes accepteurs sont ionisés. Si N_A est la concentration des atomes accepteurs, ceux-ci vont libérer : $p = N_A$ trous libres. Les concentrations en électrons libres (n) et en trous libres (p) sont liées par la loi d'action de masse[6]

$$n \cdot p = n_i^2 \quad (1)$$

Les trous sont les porteurs majoritaires et les électrons sont les porteurs minoritaires. Pour les semi-conducteurs extrinsèques, la densité de dopant est toujours très supérieure à la densité de porteurs intrinsèques $N_A > n_i$. Dans ce cas, les relations donnent les densités de porteurs sont les suivantes : [7]

$$n = \frac{n_i^2}{N_A} \quad (2)$$

$$P = N_A \quad (3)$$

Le niveau de Fermi pour un semi-conducteur de type p:

$$E_{Fp} = E_{Fi} - KT \ln \frac{N_A}{n_i} \quad (4)$$

Ainsi plus la densité d'accepteurs est élevée plus le niveau de Fermi se rapproche de la bande de valence. A la limite si $N_A = N_V$ le niveau de Fermi entre dans la bande de valence, on dit alors que le semi-conducteur est dégénéré. Dans la modélisation du schéma des bandes d'énergie, la population des électrons libres de la bande de conduction est beaucoup plus faible que celle des trous libres dans la bande de valence.

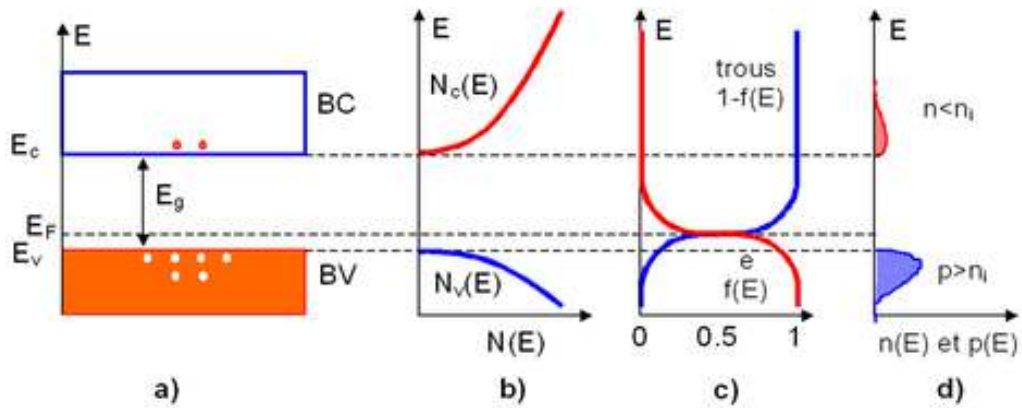


Figure I.3 : Schéma des bandes d'un semi-conducteur de type p.[8]

I.4.2 Dopage de type N

On obtient un semi-conducteur de type N en injectant dans le cristal de silicium des atomes qui possèdent cinq électrons sur leur couche périphérique. On introduit dans la matrice du semi-conducteur des atomes d'impuretés pentavalents tels que le phosphore P, l'arsenic As et l'antimoine Sb. Chaque atome d'impureté amène un électron de valence supplémentaire. Cet électron est peu lié au noyau ($E=0.01\text{eV}$) et passe aisément dans la bande de conduction. La conductivité du matériau devient à cause du taux de dopage, très supérieure à celle du matériau pur. Les atomes pentavalents ou donneurs deviennent des ions positifs après le passage des électrons excédentaires dans la bande de conduction. Théoriquement montre que le nombre des électrons dans le matériau, fonction du taux de dopage, est supérieur au nombre des trous,

fonction de la température. La conduction dite de type N (négative) est assurée par des électrons. Les électrons sont les porteurs majoritaires.

Quatre de ces cinq électrons sont mis en commun avec les atomes de silicium voisins pour réaliser des liaisons de covalences. Le cinquième électron, inutilisé, est très faiblement lié à l'atome pentavalent. Une très faible énergie suffit pour le libérer et il se retrouve libre dans la bande de conduction. L'atome de phosphore qui a fourni un électron libre est appelé atome donneur. Il a perdu sa neutralité pour devenir un ion positif fixe.[8]

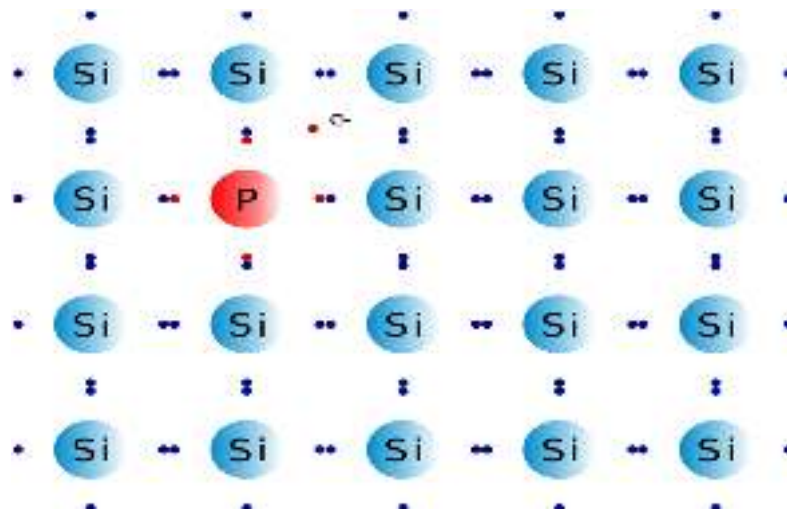


Figure I. 4 : Libération d'un électron par l'atome de phosphore [7]

A la température ambiante, la quasi-totalité des atomes donneurs sont ionisés. Si N_D est la concentration des atomes donneurs, ceux-ci vont libérer $n=N_D$ électrons libres. Les concentrations en électrons libres (n) et en trous libres (p) sont liées par la loi d'action de masse.

Les électrons sont les porteurs majoritaires et les trous les porteurs minoritaires. Par analogie avec les semi-conducteurs de type p et en notant N_D la densité de donneurs, les densités de porteurs pour un semiconducteur de type N sont

$$n = N_D \quad (7)$$

$$p = \frac{n_i^2}{N_D} \quad (8)$$

Le niveau de Fermi pour un semiconducteur type N est alors :

$$E_{Fn} = E_{Fi} + KT \ln \frac{N_D}{n_i} \quad (9)$$

Population des électrons libres de la bande conduction est beaucoup plus importante que celle des trous libres dans bande valence.

Ainsi plus la densité d'accepteurs est élevée plus le niveau de Fermi se rapproche de la bande de conduction. A la limite si $N_C = N_D$ le niveau de Fermi entre dans la bande de conduction. Dans la modélisation du schéma des bandes d'énergie

I.4.3 Jonction P-N à semi-conducteur

Une jonction *P-N* est constituée de deux zones dopées p et n et juxtaposées d'une façon que nous supposons abrupte, montrée dans (figure I.5) [9]. C'est-à-dire que la transition de la zone p à la zone n se fait brusquement. Lorsque l'on assemble les deux régions, la différence de concentration entre les porteurs des régions p et n va provoquer la circulation d'un courant de diffusion tendant à égaliser la concentration en porteurs d'une région à l'autre. Les trous de la région p vont diffuser vers la région n laissent derrière eux des atomes ionisés, qui constituent autant de charges négatives fixes. Il en est de même pour les électrons de la région n qui diffusent vers la région p laissent derrière eux des charges positives. Il apparaît aussi au niveau de la jonction une zone contenant des charges fixes positives et négatives. Ces charges créent un champ électrique *E* qui s'oppose à la diffusion des porteurs de façon à ce qu'un équilibre électrique s'établisse. Cette région dépeuplée de porteurs mobiles est appelée zone de charge d'espace (ZCE). La densité de charge, le champ électrique, le potentiel et les bandes de valence et de conduction sont représentées sur (la figure I.5). On peut déduire aisément la forme du champ électrique ainsi que du potentiel par application des équations de l'électrostatique.

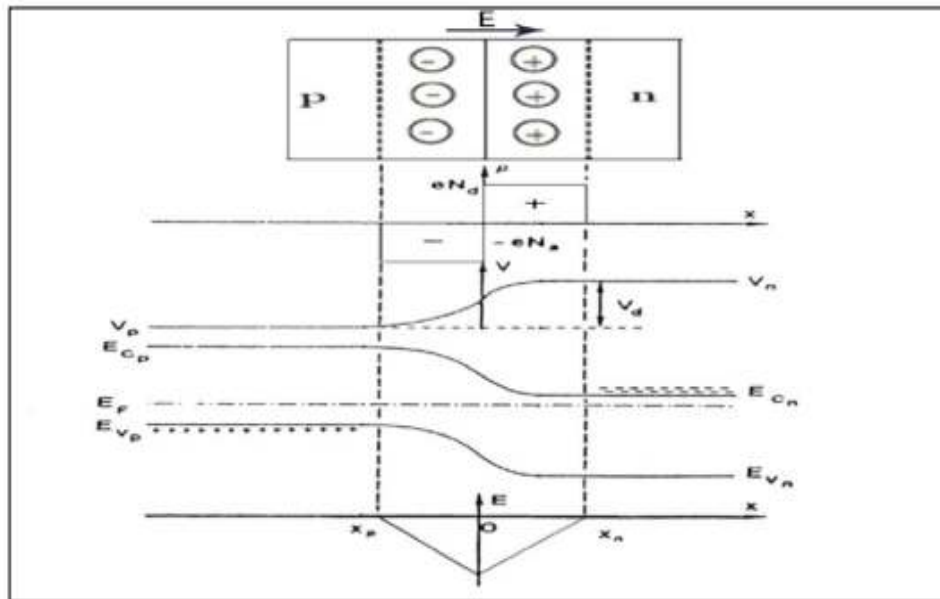


Figure I.5 Jonction P-N à l'équilibre thermodynamique [10]

I-5 Recombinaison

I-5-1 Recombinaison radiative

Dans les matériaux à bande interdite directe, l'énergie minimale de la bande de conduction se trouve directement au-dessus du maximum d'énergie de la bande de valence. Dans cette matière, les électrons libres au bas de la bande de conduction peuvent se recombiner directement avec des trous libres à la partie supérieure de la bande de valence. Ce passage de la bande de conduction à la bande de valence implique l'émission de photons (prend en charge le principe de conservation de l'énergie). Ceci est connu comme la recombinaison radiative. La recombinaison radiative se produit spontanément.

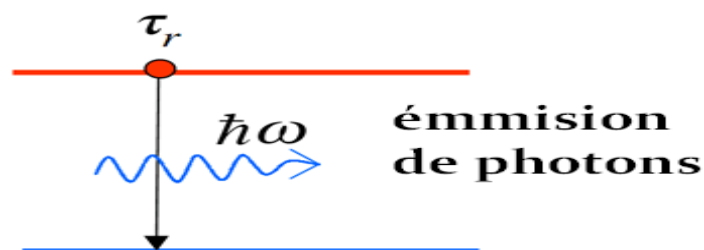


Figure I.6 : Recombinaison radiative [7]

L'énergie de la lumière émise, et par conséquent la longueur d'onde ou la couleur émise est approximativement égale à l'énergie de la bande interdite du semiconducteur. Les équations suivantes concernent la relation entre la longueur d'onde et la largeur de bande d'énergie.

$$h\nu = E_g \quad (10)$$

$$\frac{hc}{\lambda} = E_g \quad (11)$$

$$\lambda = hc/E_g \quad (12)$$

Avec : h est la constante de Planck.

ν : est la fréquence.

c : est la vitesse de la lumière.

λ : est la longueur d'onde.

E_g : est l'énergie de la bande interdite

I-5-2 Recombinaison non radiative

Dans les matériaux à bande interdite indirecte, l'énergie minimale dans la bande de conduction est décalée d'un vecteur d'onde k relatif à la bande de valence. En raison de ce décalage du vecteur d'onde, la probabilité de recombinaison électron-trou directe est moindre. Dans ces matériaux, l'énergie libérée par les électrons recombinaison avec des trous est généralement sous forme de phonon (thermalisation).[11]

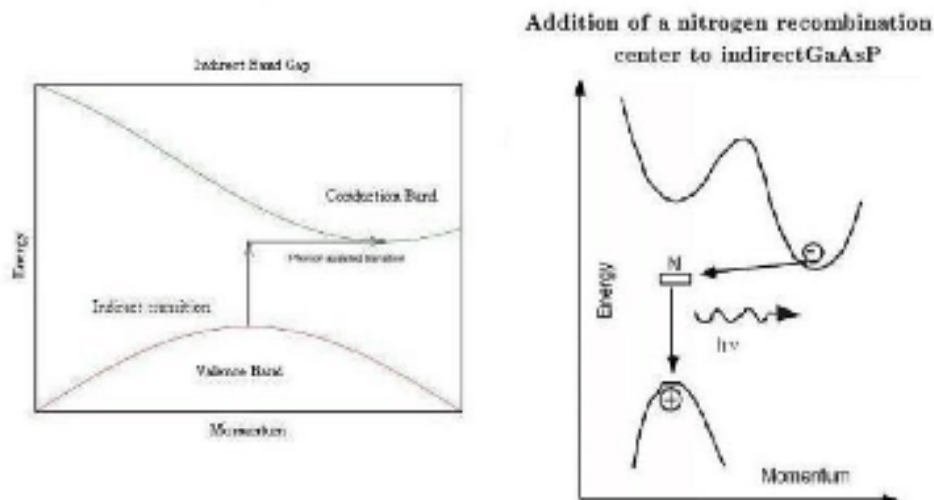


Figure I.7 : Recombinaison radiative

I.6 La luminescence

La luminescence est une émission de lumière dite « froide » par opposition à l'incandescence qui elle est dite « chaude » : toute lumière est produite par le retour vers un état de moindre énergie des électrons excités et on parle de luminescence quand le mode d'excitation n'est pas le chauffage. Quand l'émission de lumière suit l'excitation, on parle de fluorescence ; quand le délai est plus long, on parle de phosphorescence. Il existe plusieurs types de luminescence, on peut citer :

- L'électroluminescence, utilisée dans les diodes électroluminescentes (LED),
- La photoluminescence (PL) : dans les tubes luminescents ; ou photoluminescence dans les poussières interstellaires ;
- La catho-luminescence résulte du bombardement par un faisceau d'électrons. La triboluminescence est due à une excitation mécanique alors que la chimiluminescence fait suite à une réaction chimique.
- La triboluminescence (contrainte mécanique), visible en écrasant du sucre dans l'obscurité ;
- La radio luminescence lorsque sa source est la désintégration radioactive d'un corps ;
- La sonoluminescence consistant à la variation de la taille des bulles d'un gaz luminescent [12]

I.6.1 L'électroluminescence

Pour comprendre le phénomène d'électroluminescence, il faut d'abord s'intéresser à la luminescence. Ce terme désigne une émission lumineuse dont l'origine n'est pas liée à un phénomène thermique comme dans le cas de l'émission lumineuse du soleil. La luminescence est obtenue à partir d'une excitation externe qui engendre une ou plusieurs modifications internes des propriétés du matériau luminescent, provoquant ainsi une émission lumineuse. L'excitation externe peut avoir plusieurs origines et aussi donner naissance à différents phénomènes physiques. Dans le cas des diodes organiques électroluminescentes, l'excitation externe est un champ électrique appliqué entre deux électrodes situées de part et d'autre du matériau. Le phénomène physique engendré par l'application d'un champ électrique au matériau organique, est appelé électroluminescence par injection [13]

I-7 Diode électroluminescente

I-7.1 Définition

Une diode électroluminescente abrégé sous les sigles DEL ou LED (de l'anglais Light Emitting Diode), est un composant optoélectronique capable d'émettre de la lumière lorsqu'il est parcouru par un courant électrique. Une diode électroluminescente ne laisse passer le courant électrique que dans un seul sens (le sens passant, comme une diode classique, l'inverse étant le sens bloquant) de plus elle produit un rayonnement monochromatique ou polychromatique incohérent à partir de la conversion d'énergie électrique lorsqu'un courant la traverse. Leur robustesse, leur faible consommation d'énergie et leur longue durée de vie leur confèrent un attrait indéniable. Du fait de leur utilisation croissante, et comme pour toutes les autres sources lumineuses, les LED ont besoin d'être caractérisées. Cette tâche n'est pas aisée puisqu'elles possèdent des répartitions spatiales et spectrales qui peuvent énormément différer d'une diode à l'autre. De plus la stabilité de l'intensité lumineuse en sortie de la diode est soumise, à la stabilité d'une part du courant qui la traverse et, d'autre part, à sa température. Pour la fabrication d'une LED il faut donc choisir un matériau à transition directe dont la largeur de bande interdite est supérieure ou égale à, étant la fréquence de la radiation émise. Ces matériaux semi-conducteur binaires (GaAs, InP,....) ou tertiaires (GaP_xAs_{1-x}, AsIn_xGa_{1-x},....) couvrent une région du spectre allant du vert (0.55 μm) l'infrarouge lointain (8.5μm). Les niveaux d'énergie introduits dans la bande interdite par les impuretés de dopage peuvent aussi jouer un rôle important dans le processus de recombinaison radiative d'une jonction LED.[12]

I-7.2 Taille de la LED

Une LED a généralement un diamètre de 3 à 10mm. Pour les composants à piquer, la cathode est plus courte que l'anode et l'époxy forme un plat au droit de l'anode pour en permettre l'identification sur un composant monté. Pour les composants de surface les constructeurs ont leurs propres conventions de marquage à considérer au cas par cas.

I-7.3 Structure d'une diode électroluminescente

Les LED sont généralement construits sur un substrat de type N, la structure de base d'une diode électroluminescente, est une jonction P-N réalisée à partir de semiconducteurs dans lesquels les recombinaisons des porteurs excédentaires sont essentiellement radiatives. La structure type d'une diode électroluminescente est représentée sur la figure suivante :

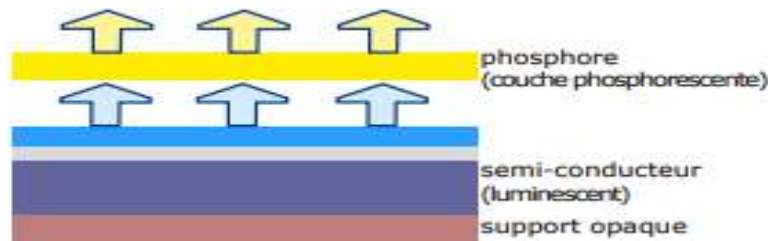


Figure I.8 : Structure d'une diode électroluminescente.[14]

La structure LED joue un rôle crucial dans l'émission de lumière de la surface. Les LEDs sont structurées pour assurer la plupart des recombinaisons à la surface par deux façons.

- En augmentant la concentration de dopage du substrat, de sorte que plus les charges libres minoritaires porteurs d'électrons se déplacent vers le haut, se recombinent émettent de la lumière à la surface.

- En augmentant la longueur de diffusion $L = \sqrt{Dt}$ avec : D est le coefficient de diffusion ; t est la durée de vie du support.

Mais quand elle est augmentée au-delà d'une longueur critique il y a une chance de réabsorption des photons dans le dispositif. La LED doit être structurée de telle sorte que les photons générés par le dispositif sont émis sans être absorbés. Une solution consiste à rendre la couche p sur la partie supérieure mince, assez pour créer une couche d'appauvrissement. Dans la figure suivante structure en couches. Il existe différentes façons de structurer le dôme pour l'efficacité d'émission.[11]

I-7.4 Principe de fonctionnement de LED

Lorsqu'une jonction P-N est polarisée dans le sens direct, les électrons, qui sont majoritaires dans la région de type N, sont injectés dans la région de type P où ils se recombinent avec les trous, le principe de fonctionnement est représenté sur la figure. I.9 :

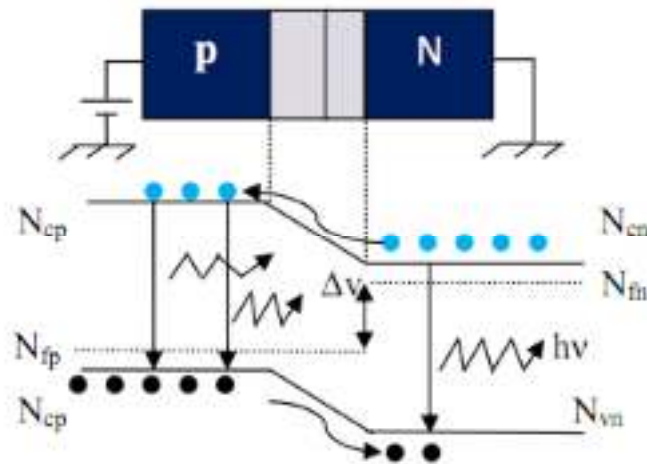


Figure. I.9 : Principe de fonctionnement de LED [14]

Les recombinaisons des porteurs excédentaires se manifestent dans trois régions différentes qui sont d'une part la zone de charge d'espace, et d'autre part les régions neutres N et P. Dans chacune de ces dernières, la zone émettrice est limitée à la longueur de diffusion des porteurs minoritaires. La zone de charge d'espace joue un rôle mineur en raison du fait que la jonction est fortement polarisée dans le sens direct. C'est lors de la recombinaison d'un électron et d'un trou dans un semiconducteur qu'il y a émission d'un photon. En effet, la transition d'un électron entre la bande de conduction et la bande de valence peut se faire avec la conservation du vecteur d'onde d'un photon. Dans une transition émissive, l'énergie du photon créé est donnée par la différence des niveaux d'énergie avant (E_i) et après (E_f) la transition [15]

$$h\nu = E_i - E_f \quad (13)$$

La face émettrice de la LED est la zone P car c'est la plus radiative du fait qu'elle contient la zone de recombinaison.

I-7.5 LED à homo-jonction

Elle est constituée du même semiconducteur pour les deux régions dopées de type P et de type N. Elle résulte de la juxtaposition dans un même matériau semiconducteur de deux zones : une de type P et l'autre de type N. Cette juxtaposition entraîne des courants de diffusion d'électrons et de trous au voisinage de la jonction. Une barrière de potentiel est alors créée. Elle s'oppose aux courants de diffusion des porteurs majoritaires de chaque zone. Cette barrière ne dépend que des travaux de sortie des deux régions (V_{bi} est déterminée par la différence entre les niveaux de Fermi). [11]

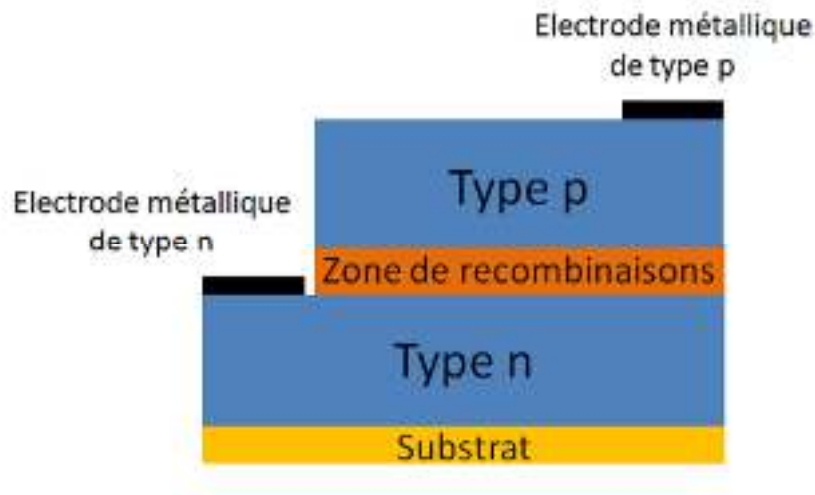


Figure. I.10: Schéma de principe d'une homo-jonction PN.

I-7.6 LED à hétérojonction

Elle se forme au contact de deux matériaux semiconducteurs différents. Contrairement à l'homo-jonction, la différence entre les gaps des deux semiconducteurs fait l'apparition de barrières énergétiques au niveau de l'interface entre les deux matériaux, cette barrière dépend aussi de l'affinité électronique et de la concentration des dopants des deux semiconducteurs [16]

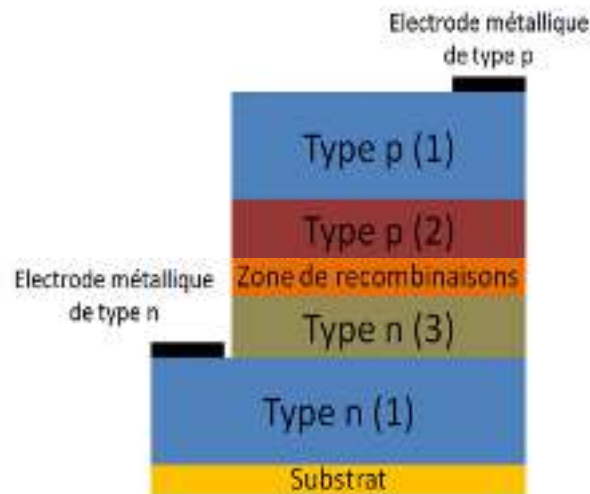


Figure. I.11 : Schéma de principe d'une hétérojonction PN.

I-7.7 LED à puits quantique

Elle est obtenue en faisant croître une couche d'un matériau semiconducteur A (typiquement quelques dizaines de nanomètres) entre deux couches d'un autre matériau semiconducteur B. ce dernier présente un gap d'énergie supérieur à celui du matériau A. La discontinuité entre les bandes d'énergie dans les deux matériaux crée une barrière de potentiel qui confine les porteurs dans le puits quantique [17].

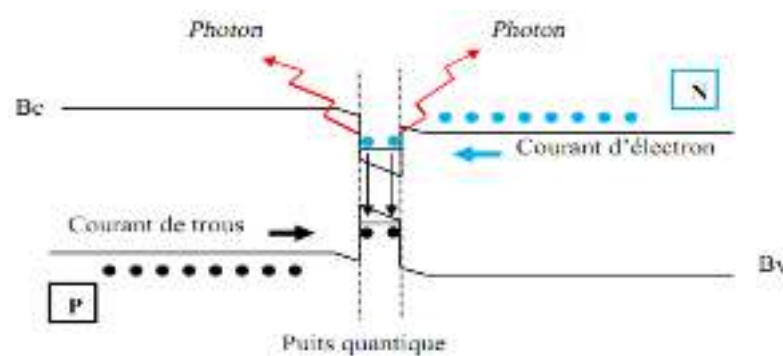


Figure. I .12 : Schéma de principe d'un puits quantique PN.

I.8 Diodes électroluminescentes dans le domaine visible

Théoriquement, l'alliage $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ couvre le domaine visible, alors l'hétéro structure adéquate c'est le GaN/InGaN (Figure 12) ; présente une longueur d'onde :

$$\lambda = \frac{1.24}{E_g(\text{eV})} (\mu\text{m}) \quad (14)$$

En remarque que l'énergie de puits de cette hétéro structure et l'énergie du gap de $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ dépend de composition x , ainsi la valeur de la longueur d'onde λ appartient au gamma visible.

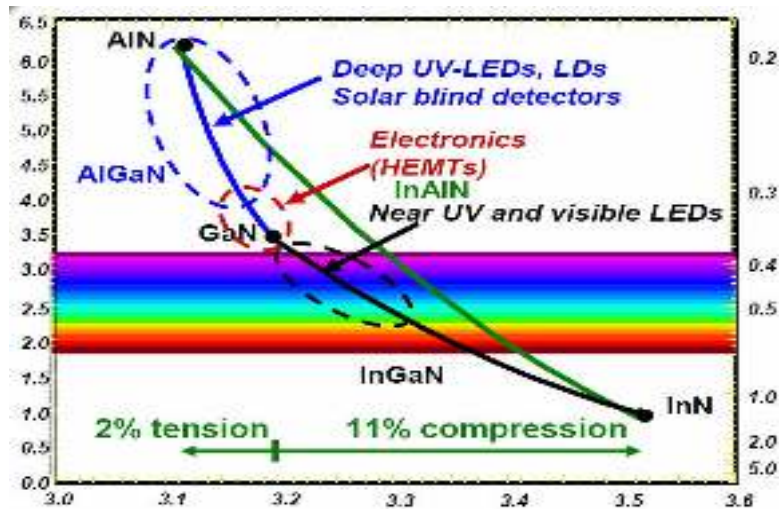


Figure. I. 13 : Variation de l'énergie (longueur d'onde) en fonction de paramètre de maille de quelques semiconducteurs à gap direct [18]

La différence des paramètres de maille entre le GaN et le InGaN se traduit par un désaccord de maille qui induit une contrainte à l'interface de cette hétéro-structure. Cette contrainte crée une polarisation piézoélectrique qui superpose à la polarisation spontanée. Ce champ modifier les propriétés électriques, optique et optoélectronique des hétéro structures, mais nous intéresse sur propriétés optoélectronique des hétéro structures GaN/InGaN de LED. L'augmentation du gap diminuer la longueur d'onde λ , ce qui le fait basculer dans le bleu. Alors notre LED émettra dans le visible.

La maîtrise de diodes électroluminescentes bleues, vertes et rouges permet aujourd'hui de réaliser des dispositifs émettant toutes les couleurs du spectre visible, ceci y compris les émetteurs de lumière blanche avec un meilleur rendement que les lampes à incandescence. Les alliages semiconducteur à base de nitrures de gallium permettent de réaliser des diodes électroluminescentes (LEDs) très performantes émettent dans la lumière blanches.

I.8.1 Diodes électroluminescentes bleues

La couleur d'une LED standard est fixée par la valeur de l'énergie de bande interdite E_g du semiconducteur utilisé. Pour un semiconducteur à grande bande interdite de 2.5 à 3eV, la lumière produite est plutôt bleue. La zone active des LEDs est en fait constituée de puits quantiques formés par l'insertion d'un semiconducteur de bande interdite supérieure. Cette dernière joue le rôle de confinement des porteurs dans un puits. L'émission de lumière

correspond alors aux recombinaisons électrons-trous entre les niveaux d'énergie fondamentale de puits quantiques.

Les premières LEDs bleues ont été réalisées sur la base de doubles hétérojonctions (DH) de type InGaN/AlGaN (Nakamura S-1994). La zone active est la couche de InGaN doublement dopée Si et Zn. Le spectre d'émission de ces diodes est représenté sur la figure I-14 pour plusieurs valeurs du courant d'excitation

Quand l'excitation augmente, la puissance lumineuse augmente proportionnellement et le spectre se déplace vers les courtes longueurs d'onde. Des diodes électroluminescentes bleues, vertes, et jaunes à simple puits quantique de InGaN.

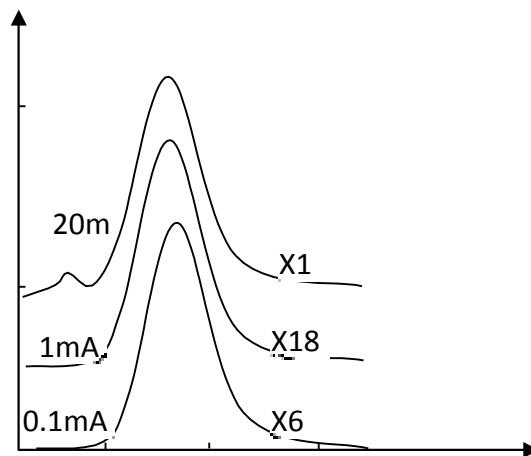


Figure I.14 : Spectre d'émission de diodes électroluminescentes bleues à double hétérojonction InGaN/AlGaN, pour différentes valeurs du courant d'excitation.[18]

Les spectres d'émission de ces diodes sont- représentés sur la figure (I-14) pour un courant d'excitation de 20 mA. Ces spectres, qui sont obtenus par le seul changement de la composition x de l'indium dans le puits, sont centrés à 450nm (bleu), 525nm (vert) et 600 nm (jaune). Quand le taux d'indium augmente la largeur du spectre augmente aussi, probablement en raison de la plus inhomogénéité de la couche

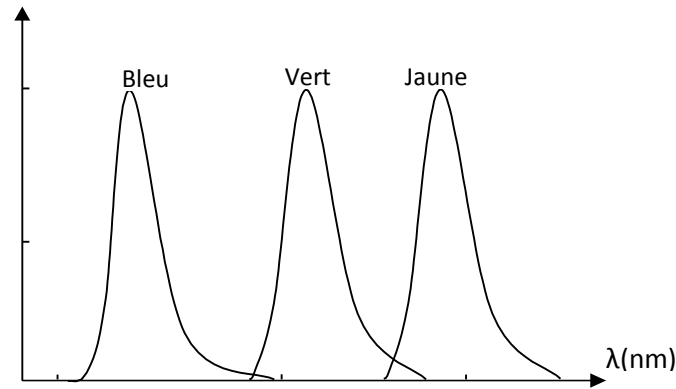


Figure I .15 : *Spectre d'émission de diode électroluminescente bleue, verte et jaune à simple puits quantique de InGaN [18].*

I.9 Classification des diodes électroluminescentes

I.9.1. Classement selon la puissance

➤ LED de faible puissance

Les diodes électroluminescentes de faible puissance ce sont les plus connues du grand public car elles sont présentées dans notre quotidien depuis des années. Ce sont elles qui jouent le rôle de voyant lumineux sur les appareils électroménagers par exemple. Possède un dôme en époxy qui n'a pas de symétrie de révolution autour de son axe central, mais possède un bord plat du côté de la cathode. Cette caractéristique permet à l'utilisateur de pouvoir distinguer l'anode de la cathode lorsque l'identification de la longueur des pattes de la LED n'est plus possible. Ce dôme a pour rôles, d'une part, de protéger la puce semi-conductrice (jonction PN) de l'environnement extérieur, et d'autre part, de servir de lentille optique permettant l'extraction de la lumière émise.

➤ LED de forte puissance :

Les LED de forte puissance souvent méconnues du grand public, elles sont pourtant en plein essor et leurs applications sont souvent ignorées : flash de téléphones portables, éclairage domestique, éclairage de spectacle, lampe de poche ou frontales. Le principe de base reste identique à la précédente architecture. L'alimentation de la puce semi-conductrice est assurée par deux électrodes reliées par deux fils conducteurs. Contrairement à l'architecture précédente, dans celle-ci il y a une dissociation du chemin de l'alimentation électrique et de la dissipation thermique. La dissipation thermique se faisant sous le composant.[20]

I.9.2. Classement selon le spectre d'émission

Une autre manière de les classer est de considérer la répartition de l'énergie dans la gamme de longueur d'onde couvrant le visible (longueurs d'ondes de l'ordre de 380 - 780 nm) ou l'invisible (principalement l'infrarouge). La raison de la distinction réside dans le fait que certaines diodes peuvent servir à éclairer, ce qui est l'une des applications phares du futur (proche):

- ✓ **Les chromatiques :**
- ✓ L'énergie est concentrée sur une plage étroite de longueur d'onde de 20 à 40 nm. Ces sources ont un spectre quasiment monochromatique
- ✓ **Les blanches :** l'énergie est répartie dans le visible sur toute la gamme de longueurs d'onde de 380 à 780 nm environ.
- ✓ **Les infrarouges :** l'énergie est émise hors du spectre de la lumière visible, au-delà de 700 nm de longueur d'onde. Elles sont utilisées pour transmettre des signaux de télécommandes ou pour de la télémétrie exploités par exemple dans la détection de position des consoles de jeux telles que la Wii, ou servir d'éclairage pour les caméras infrarouge, etc. [17]

I.10. Extraction de la lumière émise

Une des difficultés des LEDs est de parvenir à extraire à l'air libre le maximum de photons émis au sein du semiconducteur. En effet, dans un semiconducteur d'indice de réfraction n , la lumière est totalement réfléchi à l'interface du semiconducteur – air.

L'angle d'émission dépasse une valeur critique, donnée par la loi de Snell-Descartes :

$$\theta_c = \arcsin \frac{1}{n} \quad (15)$$

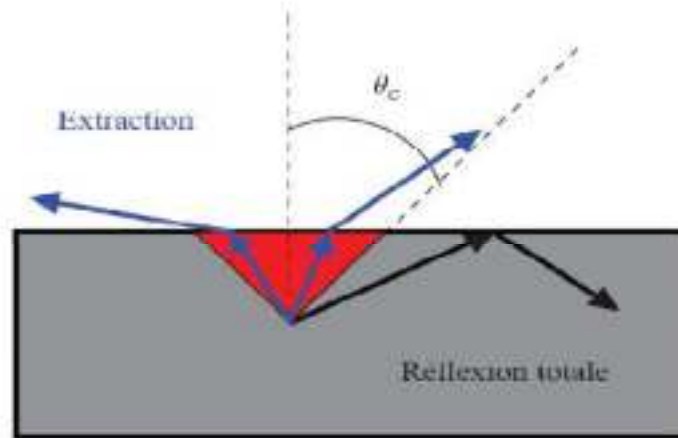


Figure I.16 : Principe Extraction de la lumière émise.

Ainsi, seule la lumière se trouvant à l'intérieur du cône définie par l'angle appelé cône d'extraction, peut être extraite dans l'air. Une émission isotrope donne alors un rendement d'extraction [17]

$$\theta_{extract} = \frac{1}{2}(1 - \cos \theta_c) \quad (16)$$

I.11 Applications des LEDs Visibles

La progression des performances des LEDs s'est naturellement traduite par élargissement de leur champ d'application. Outre le domaine des écrans et de la signalisation, qui se sont ouverts aux LEDs depuis plusieurs années.

Les affichages de toute sorte sont des applications standard pour les LEDs, par exemple une signalisation verticale peut facilement être mise en place avec des LEDs. Les systèmes sur pixels sont nettement plus faciles et plus simples à mettre en place, car pratiquement tous les symboles peuvent être illustrés avec une circuiterie intelligente

Les LEDs, qui offrent d'excellentes fiabilité et durabilité, sont le choix parfait pour tous les affichages extérieurs, ne nécessitant que très peu de maintenance. Ces systèmes offrent une plus grande fiabilité et une superbe apparence optique. Les LED offrent la possibilité de mettre en place des systèmes d'affichage en plein jour, par exemple : les afficheurs géants avec plus de trois millions de LEDs pour l'affichage de la publicité et les stades de sport

Les LEDs visibles ont une haute efficacité lumineuse comparativement aux ampoules incandescentes et cette efficacité devrait augmenter dans le futur, résultant dans leur utilisation sur un nombre croissant d'applications. Des durées de vie supérieures à 50 000 heures sont

garanties dans la plupart des cas.

Les LED doivent être commandées à faible puissance avec une dissipation minimale d'énergie de 150 mW, et donc la plupart des applications d'éclairage nécessitent de nombreuses LED à faible puissance. Les nouvelles LED haute puissance ont des dissipations de puissance allant de 500 mW jusqu'à 10 Watts dans un seul boîtier. Ces composants hauts puissance peuvent remplacer les autres technologies d'éclairage dans la plupart des applications. La technologie a fait des progrès étendus ces dernières années avec la technologie LED étant largement acceptée par le marché de l'éclairage en général.

En combinant la technologie de LED avec une technologie optique plus récente, des progrès supplémentaires sont maintenant possibles.[14]

I.11-1 Affichage

MVD (Multi Vidéo Designs) a développé un système de visualisation sur un écran à diodes LEDs. Ce système permet de contrôler aussi bien la transmission des données vidéo que celle des commandes de contrôle et celle des paramètres de visualisation lesquels peuvent être adaptés dynamiquement pendant le fonctionnement normal de l'écran [19].

Chaque pixel est constitué de trois LEDs (Rouge, Vert, Bleu). Pour un nombre déterminé de pixels par ligne et de lignes disponibles, la séparation entre les pixels consécutifs détermine la taille de l'écran.

Chaque carte de LEDs est associée à une carte contrôleur, laquelle choisit dans le flux de données ceux qu'ils lui correspondent, et gère l'allumage des LEDs. Les cartes de contrôle sont chaînées par une liaison série différentielle

Elles sont encore très discrètes et réservées à quelques applications pour l'affichage. Les diodes électroluminescentes, issues de l'électronique, sont appelées à être la source de lumière du futur.

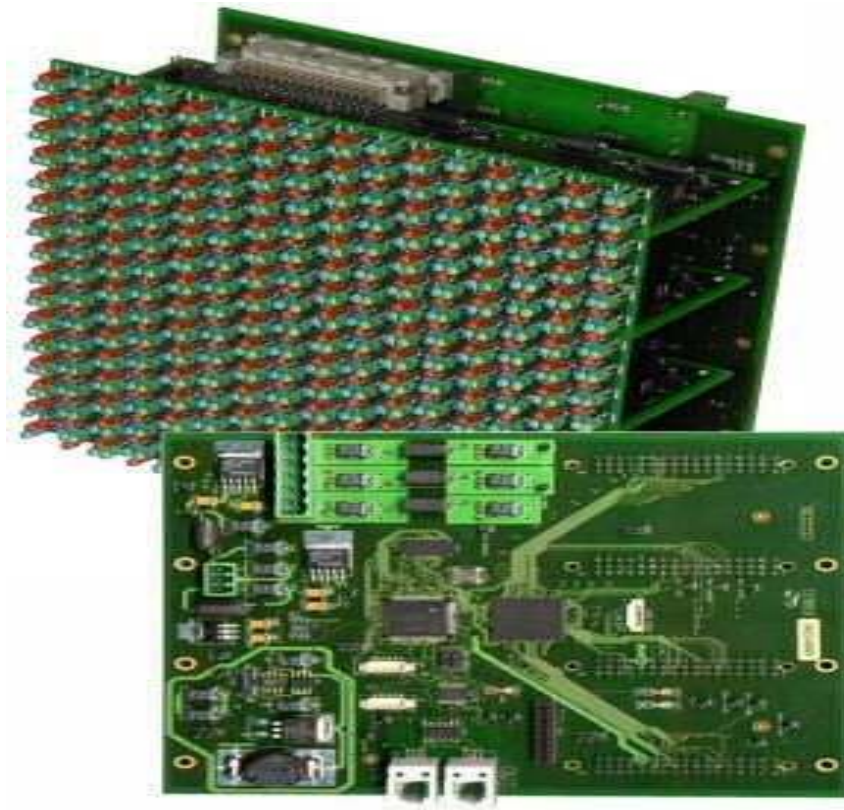


Figure I-17 : Écran à diode LEDs

La performance des LEDs a évolué au point où une LED peut remplacer une ampoule et donc elles sont utilisées dans les voitures de luxe. Plusieurs marques telles que Toyota, Audi, Cadillac, Lincoln, BMW, Volvo, Jaguar utilisent les LEDs pour différentes sortes d'éclairage extérieur.

L'utilisation des LEDs blanche est loin d'être complexe comparée aux LEDs rouges à cause de sa grande puissance.



Figure I.18 : les phares automobiles [20]

I.11.2 Signalisation

Les LEDs peuvent aussi être utilisées dans les applications de signalisation

I.11.2. a. Les feux de circulation :

Compte tenu de leur détectivité et de leur couleur, les LEDs sont plus efficaces que les lampes classiques pour cette application. La maintenance est très réduite et elles offrent un rendement intéressant contrairement aux lampes incandescentes.



Figure I.19: les feux de circulation

Ces LEDs sont aussi utilisées pour les veilleuses et l'éclairage de secours, ce qui permet de réduire largement la maintenance sur ces appareils. Mais pour le moment les LEDs sont plus utilisées pour la fonction veilleuse car pour l'éclairage de sécurité elles ne permettent pas une économie d'énergie.



Figure I.20 : Éclairage de secours[21]

I.11.2. b. Les lampes torches :

De nombreuses torches, lampes frontales et phares à base de LEDs blanches ou bleues sont de nos jours présents sur le marché. Les LEDs sont essentiellement appréciées pour ce genre d'applications vu leur longévité (très longue) et leur résistance aux chocs.

L'utilisation de ces LEDs permet aussi la conception de torches magnétiques sans piles, qui ne sont pas gênantes : en secouant pendant quelques secondes on recharge le condensateur, à l'aide d'un aimant glissant à l'intérieur de la bobine, qui alimentera la torche pendant une heure.[21]



Figure I.21 : Lampes torche

I.11.2.c. L'éclairage en hauteur

Les sources lumineuses sont souvent placées à plus de trois mètres de hauteur dans les

amphithéâtres, usines, supermarchés ou à l'extérieur ce qui rend la maintenance plus difficile et plus coûteuse. La longévité très importante des LEDs permet de réduire les opérations de maintenance.

I.11.2.d. Variateur d'éclairage des LEDs

La visibilité des LEDs dépend largement des conditions de lumière ambiantes. Il arrive parfois que la luminosité des voyants de la console vienne troubler le plaisir du public durant une performance en live. Pour s'adapter à la diversité des conditions de performance et d'éclairage, la console M7CL dispose de deux niveaux d'intensité pour ses voyants DELs. Pour une meilleure adéquation aux conditions de luminosité très variées lors des performances en live, la console M7CL autorise le réglage individuel de la luminosité de l'écran, des indicateurs de panneau et des voyants. Deux réglages d'intensité peuvent être mémorisés pour un rappel instantané

I.14.3 Éclairage public

Pour l'heure, les LEDs en vente dans les grands magasins. "Cela permet de créer une ambiance dans une pièce avec de la couleur rouge, bleu, vert et jaune, mais ce n'est pas assez performant pour produire de l'éclairage", précise Denis Rénaux, de la société Osram. En effet, la technologie des LEDs doit être encore améliorée pour qu'elles puissent concurrencer nos ampoules classiques. Car "un éclairage de qualité doit répondre à plusieurs exigences, rappelle Bernard Duval, délégué générale de l'Association française de l'éclairage. Il faut qu'il fournisse une belle lumière, une ambiance plus ou moins chaude et un bon rendu des couleurs".[21]

Architectes et concepteurs font également appel à elles pour décorer des façades de bâtiments, des ponts ou des magasins, ou encore pour tracer des balises sur le sol



Figure I-22 : Éclairage public

I.12 Les couleurs de la lumière émise (LED)

La couleur d'une diode électroluminescente peut être générée de différentes manières :

- ✓ Coloration due au gap du semi-conducteur (capot transparent) ;
- ✓ Coloration modifiée par le capot de la diode (émission bleue ou UV + revêtement à base de luminophores)
- ✓ Coloration par plusieurs émissions de longueur d'onde différentes (diodes électroluminescentes polychromatiques). Elles permettent notamment de proposer une vaste gamme de couleurs.

Voici quelques colorations en fonction du semi-conducteur utilisé :

| Couleur | Longueur d'onde (nm) | Tension de seuil (V) | Semi-conducteur utilisé |
|------------|-----------------------|--------------------------|-------------------------|
| Infrarouge | $\lambda > 760$ | $\Delta V < 1,63$ | (AlGaAs) |
| Rouge | $610 < \lambda < 760$ | $1,63 < \Delta V < 2,03$ | (AlGaAs), (GaAsP) |
| Orange | $590 < \lambda < 610$ | $2,03 < \Delta V < 2,10$ | (GaAsP) |
| Jaune | $570 < \lambda < 590$ | $2,10 < \Delta V < 2,18$ | (GaAsP) |
| Vert | $500 < \lambda < 570$ | $2,18 < \Delta V < 2,48$ | (GaN), (Gap) |
| Bleu | $450 < \lambda < 500$ | $2,48 < \Delta V < 2,76$ | (ZnSe), (InGaN), (SiC) |
| Violet | $400 < \lambda < 450$ | $2,76 < \Delta V < 3,1$ | |

| | | | |
|-------------|-----------------|------------------|----------------------------|
| Ultraviolet | $\lambda < 400$ | $\Delta V > 3,1$ | diamant (C), (AlN)(AlGaIn) |
| Blanc | Chaude à Froide | $\Delta V = 3,5$ | |

Tableau I-1 : Les couleurs de la lumière émise (LED) [22]

I.13 Les avantages et les inconvénients de LEDs

I.13.1. Les avantages

Les avantages des diodes électroluminescentes sont nombreux, notamment :

- ✓ Facilité de montage sur un circuit imprimé, traditionnel ou CMS (Composant Montée Surface).
- ✓ Consommation inférieure aux lampes à incandescence et du même ordre de grandeur que les tubes fluorescents
- ✓ Excellente résistance mécanique (chocs, écrasement, vibrations).
- ✓ Taille beaucoup plus réduite que les lampes classiques ce qui offre la possibilité de réaliser des sources de lumière très ponctuelles, de faible à très faible consommation électrique.
- ✓ Durée de vie (20 000 à 50 000 heures environ) beaucoup plus longue qu'une lampe à incandescence classique (1 000 heures) ou qu'une lampe halogène (2 000 heures).
- ✓ Fonctionnement en très basse tension (TBT), gage de sécurité et de facilité de transport.
- ✓ Atout non négligeable en matière de sécurité, par rapport aux systèmes lumineux classiques, leur inertie lumineuse est quasiment nulle.
- ✓ Les LEDs RVB (rouge-vert-bleu) permettent des mises en valeur colorées avec des possibilités de variations sans limite.[14]

I.13.2. Les inconvénients

On peut aussi citer quelques inconvénients des diodes électroluminescentes notamment :

Le prix d'achat des lampes à LEDs reste un peu plus élevé que celui d'une lampe incandescence halogène.

Les LEDs, comme tout composant électronique, ont des limites maximales de température de fonctionnement, de même que certains composants passifs constitutifs de leur circuit d'alimentation (comme les condensateurs chimiques qui s'échauffent en fonction du courant efficace), ce qui conditionne en partie la durée de vie des lampes à LED. La dissipation thermique des composants des ampoules à LED est un facteur limitant leur montée en puissance notamment en assemblage multi puce. Les recherches portent sur des moyens de limiter la température et de mieux dissiper la chaleur des LEDs de puissance.

Les LEDs bleues ainsi que les LEDs blanches contiennent un spectre bleu de forte intensité potentiellement dangereux pour la rétine si elles entrent dans le champ de vision, même périphérique. Ceci est bien sûr proportionnel à leur puissance. Cela devient de plus en plus préoccupant puisque des LEDs toujours plus puissantes sont mises sur le marché. Toutefois sont récemment apparues des LEDs à tons chauds, au spectre appauvri en lumière bleue.

Selon le constructeur Philips, l'efficacité lumineuse de certaines LEDs baisse rapidement (comme pour la plupart des technologies lumineuses) pour ne plus produire en fin de vie que 20 % de la quantité de lumière initiale, mais pour les

LEDs les plus performantes du marché, la quantité de lumière produite en fin de vie serait encore d'au moins 70 %. La température accélère la baisse de l'efficacité lumineuse. Philips précise également que la couleur peut varier sur certaines LEDs blanches et tirer sur le vert en vieillissant [14]

I.14 Caractéristiques des sources lumineuses

I.14.1. La notion de température de couleur

La température de couleur d'une source lumineuse est la température à laquelle un corps noir doit être chauffé pour obtenir une émission de la même couleur. Par exemple, la température de couleur de la flamme d'une bougie est de 1850-1900K, celle d'une lampe à halogéné de 100W est de 3000K. La figure II.4 montre le diagramme de chromaticité ainsi que la courbe du corps noir au centre du diagramme. Les coordonnées de chromaticité de DELs blanches de différents fabricants sont aussi représentées.

II.14.2. Indice de rendu de couleur IRC

L'indice de rendu des couleurs (IRC), est un chiffre compris entre 0 et 100, quia pour objectif de rendre compte de l'aptitude d'une source de lumière à restituer les couleurs d'un objet par rapport à celles produites avec une source de référence. La lumière du soleil, capable de restituer toutes les nuances de couleur par l'intermédiaire d'un spectre continu et relativement homogène sur l'ensemble du domaine visible, s'est vue attribuer une valeur d'IRC égale à 100. Par opposition, les lampes à vapeurs de sodium basse pression utilisées, par exemple, dans les tunnels routiers ont typiquement un IRC de 20, très mauvais (tableau II.2) à cause de leur spectre très inhomogène dans le domaine visible.

| | |
|-----|-------------------------------|
| IRC | Qualificatifs d'appréciations |
|-----|-------------------------------|

| | |
|----------|---------------------------------|
| 90 - 100 | Excellent rendu des couleurs |
| 80 – 90 | Bon rendu des couleurs |
| 70 – 80 | Rendu des couleurs moyen |
| 50 – 70 | Mauvais rendu des couleurs |
| < 50 | Très mauvais rendu des couleurs |

Tableau I.2 : Appréciations de l'indice de rendu des couleurs.[11]

Chapitre II :
Logiciel de Simulation

II .1. Introduction

SILVACO (Silicon Valley Corporation) est une société Américaine, ayant son siège à SantaClara en Californie. Elle est parmi les principaux fournisseurs de chaînes professionnelles de logiciels de simulation par éléments finis et de conception assistée par ordinateur pour les technologies de l'électronique TCAD (Technology Computer Aided Design). Ces outils sont employés par les compagnies de microélectronique dans le domaine de la recherche, du développement et de la conception de dispositifs. Historiquement la compagnie a été fondée en 1984 par Dr. Ivan Pesic pour répondre aux besoins des designers de circuits intégrés (IC, integrated circuits) analogiques pour des modèles SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) de plus en plus précises et linéaires.

L'entrée de SILVACO dans la technologie TCAD a eu lieu en 1989, et elle a été basée sur une recherche du Département des Dispositifs Physiques de l'Université de Stanford, ainsi apparaissent dans SILVACO « Athena » comme simulateur des processus et « Atlas » comme simulateur des dispositifs (2D et 3D). SILVACO n'a pas été conçu pour répondre à un seul composant semiconducteur. En incluant des modèles plus généraux de la physique des semi-conducteurs, il permet des simulations plus étendues en balayant toute une gamme de composants électroniques.

II.2.Tcad-Silvaco

Silvaco est une entreprise qui se spécialise dans le développement de logiciels de simulation visant presque tous les aspects de la conception électronique moderne. Dans leur suite d'outil Tcad, l'entreprise fournit des capacités de modélisation et de simulation pour de simples circuits de type spice tout le long du parcours de fabrication VLSI détaillé (figure II-1) [1].

Des environnements conviviaux et un grand nombre d'options de modélisation différentes sont utilisés pour faciliter la conception. Les outils prévoient la création de modèles complexes et d'images structurales 3D.

Les phénomènes modélisés vont de la conductivité électrique simple à des trucs tels que l'analyse thermique, le rayonnement et les effets du laser. Une grande variété des processus détaillés de la croissance des couches et les propriétés des matériaux (les mobilités, les paramètres de recombinaison, les coefficients d'ionisation, les paramètres optiques) donnait un plus à la précision de la simulation [2].

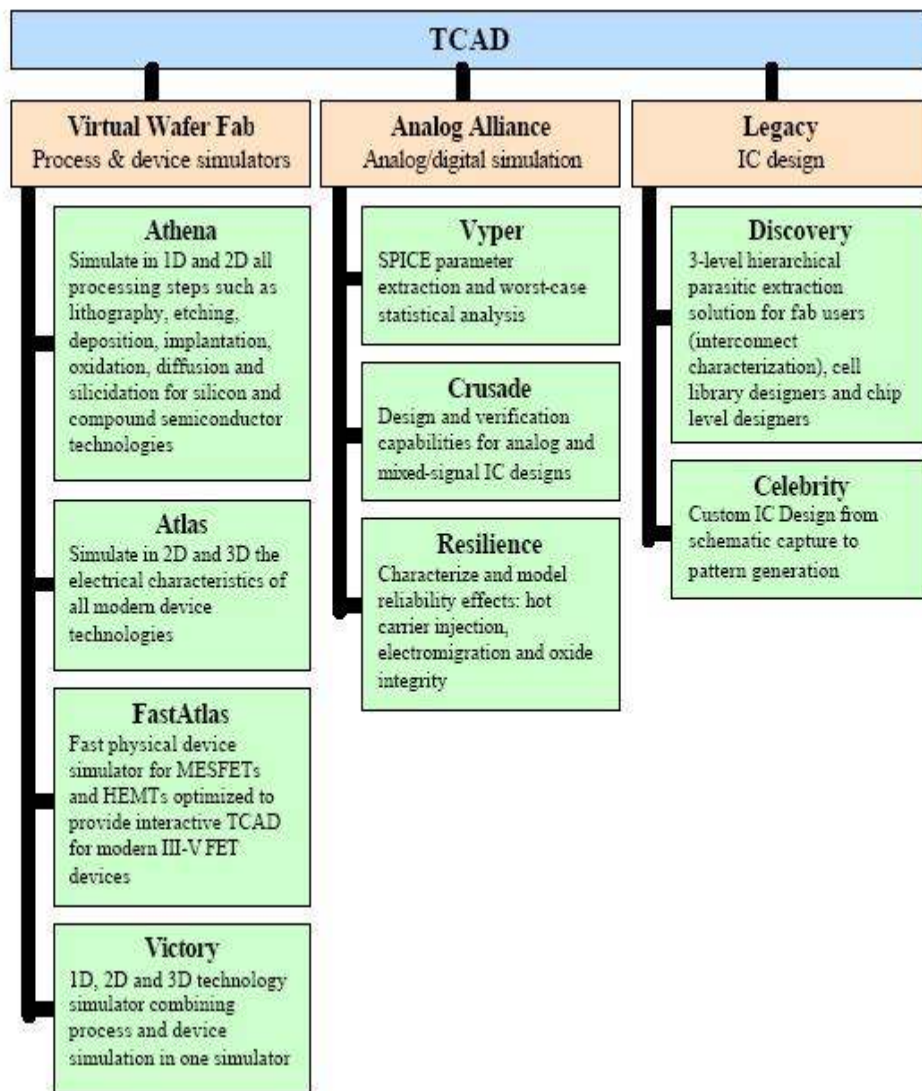


Figure II.1 : La suite d'outils TCAD de Silvaco [1].

Sous Silvaco l'ensemble des outils de simulation et des outils interactifs permettant la conception et l'analyse de la plupart des dispositifs semi-conducteurs s'appelle VWF (Virtual Wafer Fab) comme indiqué dans (la figure II.2) [3]. Les composants de base de VWF sont :

- ❖ Les outils de simulation (VWF core tools). Ces outils simulent soit leurs processus de fabrication ou soit leurs comportements électriques. Les outils de simulation sont Athena, Atlas et SSuprem3.

- ❖ Les outils interactifs (VWF interactive tools). Ces outils sont désignés pour être utilisés en mode interactif dans la construction d'un seul fichier d'entrée. En étant basé sur une interface utilisateur qui est graphique (Graphical User Interface, GUI), le travail de

construction du fichier d'entrée devient plus efficace. Les outils interactifs peuvent être utilisés soit en relation avec un ensemble de fichiers, ou comme des composants intégrés dans l'environnant « VWF automation tools ».

❖ Les outils d'automatisation (VWF automation tools). Ces outils permettent à l'utilisateur d'exécuter sur une grande échelle des études expérimentales pour créer des résultats pour l'analyse statistique suivante.

Ces outils automatiques se servent de : la technologie de base de données répartie et des méthodes de logiciels de transmissions d'interprocessus.

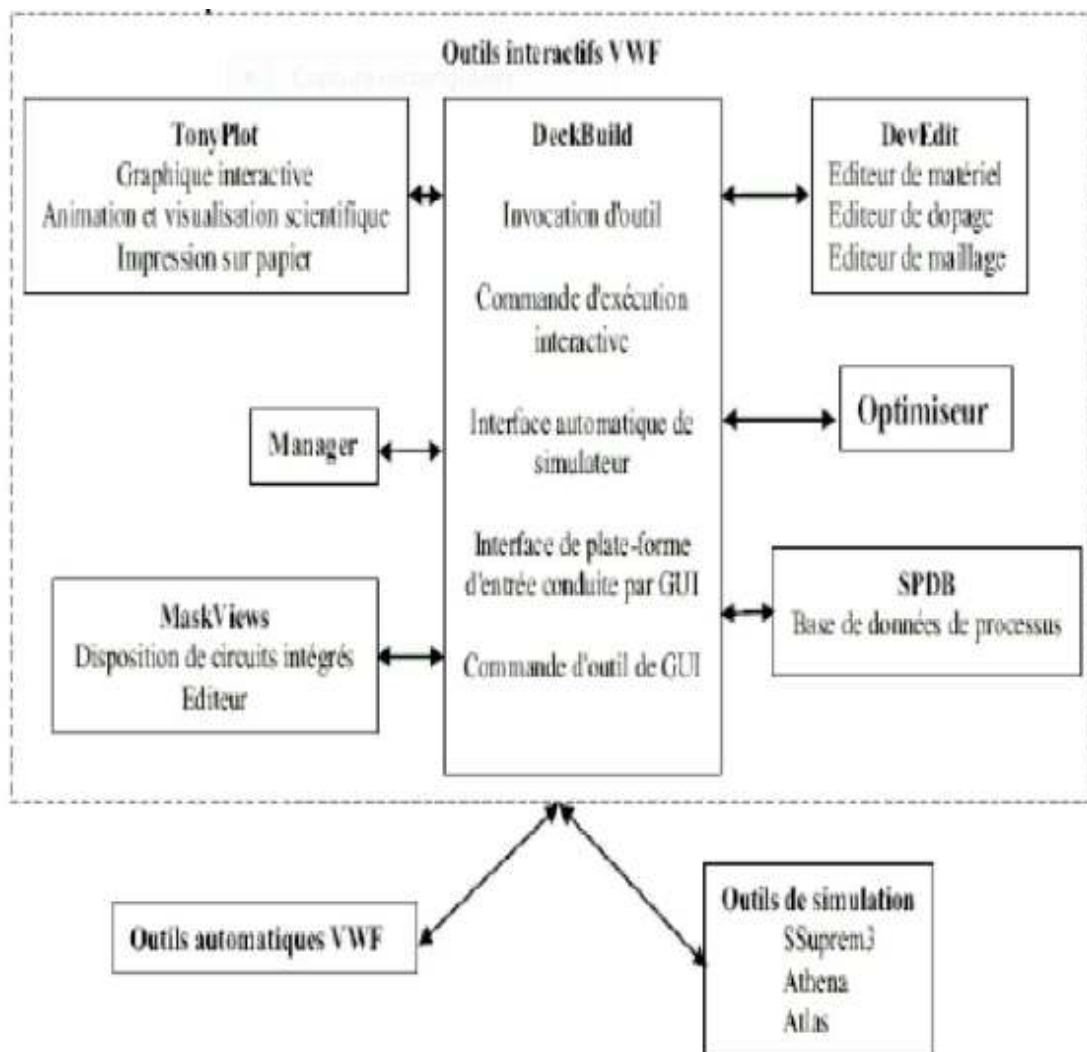


Figure II.2 : Organigramme de la structure de VWF [3].

Ainsi les modules de VWF sont les suivants :

➤ Pour les outils interactifs VWF

❖ **TonyPlot** : outil de visualisation et d'analyse graphique 1D et 2D des résultats des simulations.

❖ **Manager** : outil de gestion des fichiers utilisés et créés par VWF.

❖ **Mask Views** : outil de dessin des masques (layouts).

❖ **DeckBuild** : environnement d'exécution interactif qui permet la simulation des processus et de dispositifs (mais principalement il est l'interface avec les outils de simulation).

❖ **DevEdit** : outil d'édition de structure, on peut créer de nouvelles structures ou même modifier des structures existantes, on peut définir des maillages ou raffiner les maillages existants.

❖ **Optimiseur** : outil d'optimisation automatique

❖ **SPDB** : (Semiconductor Process Data Base), c'est un produit séparé, ça n'est pas un outil interactif, mais il peut être utilisé avec Deck-Build. Il a été conçu pour stocker un grand nombre de profils de dopage mesurés expérimentalement ainsi que les données qui décrivent les conditions des expériences.

➤ Pour les outils de simulation :

❖ **SSuprem3** : simulateur de procédé 1D avec prolongements simples de simulations des dispositifs.

❖ **Athena** : simulateur 2D de procédés technologiques qui permet de simuler les différentes étapes effectuées en salles blanches et ainsi d'obtenir la structure du dispositif (couches constitutives, dimensions, géométrie) avec les profils de dopage.

❖ **Atlas** : simulateur 2D ou 3D de dispositifs semi-conducteurs qui permet d'obtenir leurs caractéristiques électriques (statiques ou dynamiques).

II .3. Module ATHENA

Le logiciel de simulation ATHENA de TCAD-SILVACO fournit des possibilités générales pour la simulation des processus utilisés dans l'industrie des semiconducteur : diffusion, oxydation, implantation ionique, gravure, lithographie, procédés de dépôt. Il permet des simulations rapides et précises de toutes les étapes de fabrication utilisées dans l'optoélectronique et dans les composants de puissance. Le programme de simulation (défini

comme entrée) des différentes étapes technologiques et les phénomènes physiques, s'établit avec le module DECKBUILD de TCAD-SILVACO, puis la visualisation de la structure de sortie s'effectue avec le module TONYPLOT [9]

II.4. ATLAS

ATLAS est un simulateur de dispositifs semi-conducteurs basé sur les principes physiques à deux et trois dimensions. Il prédit le comportement électrique associé à la structure physique dans des conditions spécifiées. *Atlas* parvient à ceci par le partitionnement du dispositif spécifié par un maillage de grille de deux ou trois dimensions. *Atlas* applique ensuite un ensemble d'équations différentielles, fondées sur les lois de Maxwell, au maillage pour simuler le transport des porteurs de charge à travers la structure [4].

ATLAS est basé sur les modèles physiques suivants [4]:

- Les petits signaux AC et DC, et la dépendance complète en temps.
- Les modèles de transport Drift-Diffusion.
- Les modèles de transport hydrodynamique et par équilibre d'énergie.
- Échauffement du réseau et dissipation de la chaleur.
- Hétérojonctions graduées et abruptes.
- Interactions optoélectroniques avec traçage général des rayons lumineux.
- Matériaux amorphes et poly-cristallins.
- Environnements de circuits Généraux.
- Émission stimulée et radiation.
- Statistique Fermi-Dirac et Boltzmann.
- Modèles de mobilité avancés.
- Effet des forts dopages.
- La dynamique complète des pièges donneurs et accepteurs.
- Contact Ohmique, Schottky et isolants.
- Recombinaison SRH, radiative et superficielle.
- Impact d'ionisation (local et non-local).
- Grilles flottantes.

- Injection de porteurs chauds.
- Modèle de transport quantique.
- Courants d'émission thermo-ionique.

Avec Atlas l'interface est fournie par l'environnement exécutable *DeckBuild* de *Silvaco* via un fichier texte ASCII. La structure et les entrées de commandes à Atlas sont nécessaires pour simuler un dispositif. Les données de la structure contiennent les dimensions, les caractéristiques des matériaux, et les paramètres du maillage du dispositif étudié. Le fichier de commandes qui identifie les commandes *Atlas* va être exécuté pour obtenir les outputs désirés. L'ordre dans lequel les déclarations sont spécifiées à *Atlas* est important et doit être conforme aux étapes suivantes : caractéristiques structurales, spécifications des modèles de matériaux, sélection de la méthode numérique, spécification des solutions, puis l'analyse des résultats. De plus, l'ordre dans chacune de ces spécifications est également important. Par exemple, lors de l'identification des spécifications de la structure, l'ordre de commande nécessaire est : le maillage, les régions, les électrodes, puis le dopage.

Le non-respect de cet ordre spécifique se traduira par des déclarations ignorées, des résultats des simulations erronées et /ou la cessation du programme. L'organigramme liant *ATLAS* à son environnement est présenté dans (la figure II.3).

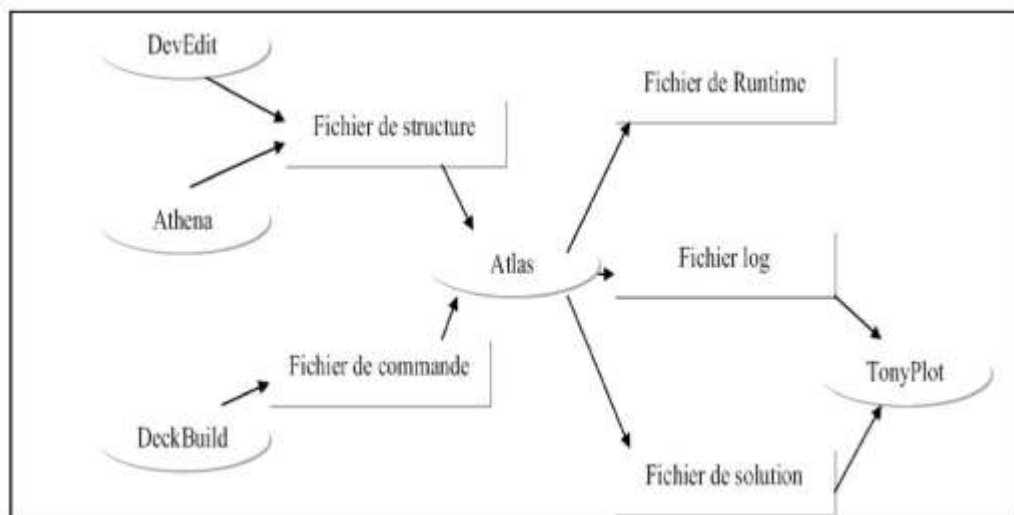


Figure II.3 : Entrées et sorties d'Atlas [4].

II.4.1. Deckbuild

Deckbuild est un outil d'environnement d'exécution puissant qui permet à l'utilisateur de manière transparente d'aller de la simulation de processus à la simulation de dispositifs à l'extraction de modèles SPICE. Il est facile d'utiliser l'environnement de l'exécution pour exécuter des simulateurs de base tels qu'Atlas. *Deckbuild* contribue à créer des fichiers d'entrées à Atlas. Plusieurs fenêtres fournissent des ponts d'entrés à base de menus ou à base de textes pour les informations saisies. Il comprend également un grand nombre d'exemples pour tous les types de technologies. Autres outils de simulation, tels que *Tonyplot*, *Devedit* et *Maskview* peuvent également être invoqué à partir de *Deckbuild*. Les optimiseurs de *Deckbuild* contribuent à l'optimisation des cibles comme les dimensions structurales et les paramètres des dispositifs après des tests électriques compliqués et des outputs intermédiaires. Un exemple est montré dans (la figure II.4).

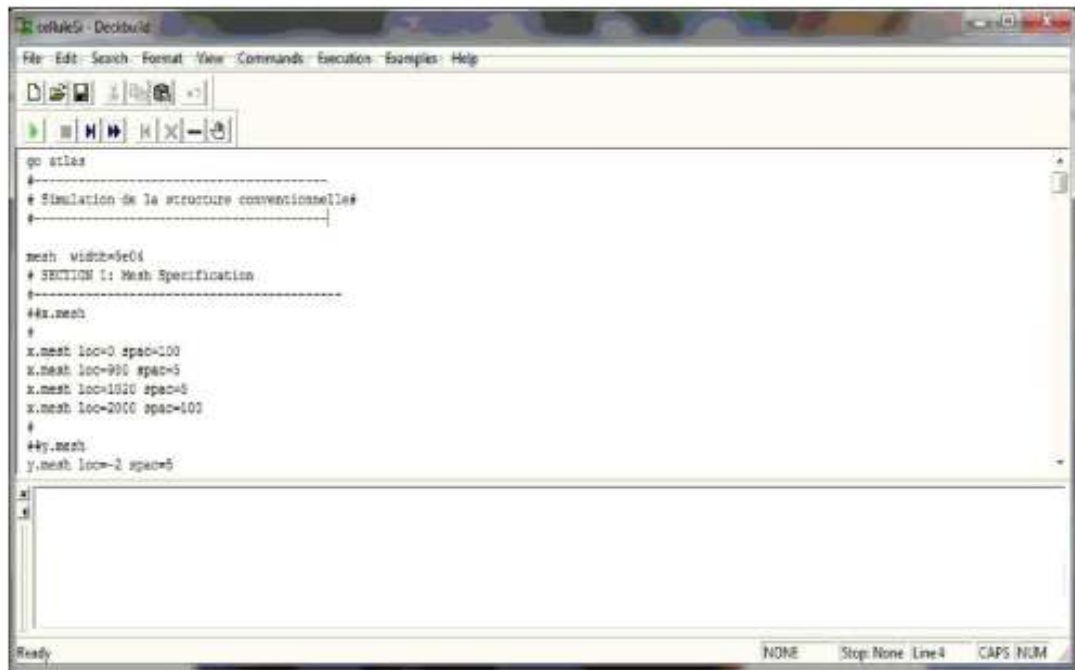


Figure II.4 : L'interface de Deckbuild

II.4.2. TonyPlot

C'est l'outil de visualisation commun pour les produits *Silvaco-Tcad*. Il fournit des fonctionnalités complètes pour la visualisation et l'analyse des outputs du simulateur. Les données peuvent être tracées selon l'envie de l'utilisateur, soit en données x-y 1D, contour de données 2D, des graphiques polaires ou des graphiques Smith. Les données mesurées peuvent

également être importées et tracées dans les types mentionnés ci-dessus. La fonction de superpositions aide à comparer les simulations multiples. Il commente le tracé pour créer des figures significatives pour les rapports et les présentations. Il permet aux tracés de structure 2D d'être tranchés en plusieurs tranches indépendantes de 1D. TonyPlot comprend des fonctions d'animation qui permettent l'affichage d'une séquence de tracés d'une manière montrant des solutions en fonction de certains paramètres, le paramètre peut être modifié par le curseur, ou par des cadres qui peuvent être bouclés en permanence, une caractéristique qui est très utile dans le développement d'aspect physique. Il permet aux données de la caractéristique I(V) (courant-tension) ou les courbes 1D d'être superposées afin d'examiner comment les conditions du procédé affectent les résultats électriques.

Il supporte le traçage des variables des équations définies par l'utilisateur étant soit des données électriques, par exemple le courant de drain ou physique, par exemple, le champ électrique. Un exemple est montré dans (la figure II.5).

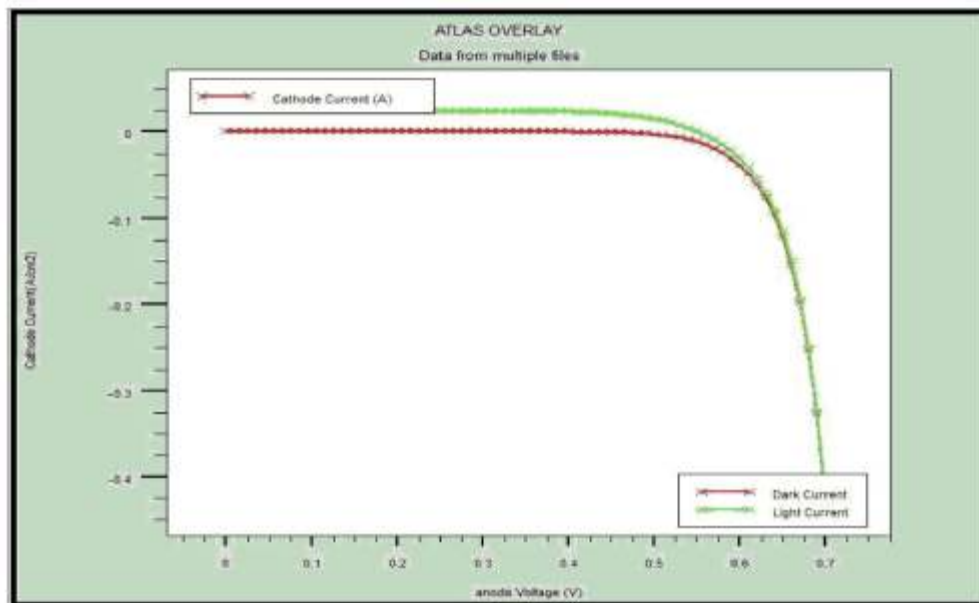


Figure II.5 : Exemple de TonyPlot courbe I(V).

II.5. Travailler avec Atlas

Le développement de la structure souhaitée dans Atlas se fait en utilisant un langage de programmation déclaratif. Dans ce qui suit, on donne un bref aperçu sur la construction et la simulation d'une structure dans Atlas [1].

Le fichier d'entrée d'atlas contient un ordre de lignes de commande. Chaque ligne consiste en un nombre de déclarations qui identifie la commande et un jeu de paramètres. Les groupes de commandes sont présentés dans le tableau II.1 [5].

| Groupe | Déclaration |
|-----------------------------------|--|
| Spécification de structure | Maille Région Electrode Dopage |
| Modèles matériels spécification | Matérielle Modèle Contact Interface |
| Sélection de la méthode numérique | Méthode |
| Spécification de solution | Log Solve Load Save |
| Analyse de résultats | Extract TonyPlot |

Tableau II.1 : Groupes de commande d'atlas et déclarations primaires [4].

Atlassuit le format suivant pour les déclarations et paramètres :

<Declaration ><Parametres>=<Valeur>

Par exemple : Doping Uniform N.Type Concentration=5.0e18 Region=1. La déclaration est doping, les paramètres sont Uniform N.Type concentration, et région.

II.5.1. Spécification de la structure

La spécification de structure est obtenue en identifiant le maillage, la région, les électrodes et les niveaux de dopage [5].[7]

Mesh (Maillage)

Dans un programme ATLAS la première des choses qu'on doit définir est le maillage de la structure « MESH » est la commande qui suit directement la commande de lancement du Simulateur ATLAS « go Atlas », elle définit le maillage au niveau des différentes zones de la structure [6].

Le maillage joue un rôle important pour l'obtention de bonnes simulations. Celui-ci doit être fait avec la plus grande attention pour garantir la fiabilité des résultats. La méthode numérique utilisée pour résoudre les équations physiques est la méthode des éléments finis. Son principe de base est la discrétisation par éléments finis des équations à traiter. Les éléments qui définissent la maille élémentaire utilisée par le simulateur sont des prismes. Le choix de maillage doit être fait de façon à avoir un compromis entre la vitesse d'exécution et l'exactitude des résultats, tel qu'un maillage épais produit une rapide simulation, mais les résultats sont moins précis. Tandis qu'un maillage fin produit un ralentissement de la simulation, mais des résultats plus précis. Donc le maillage fin est plus intéressant de point de vue résultat dans la simulation.

Le format général de définition de maillage est[7] :

X.MESH LOCATION=<VALUE>SPACING=<VALUE>

Loc : définit l'intervalle de maillage.

Spac : définit la résolution du maillage qui doit être physiquement inférieur à la longueur de Debye.

Y.MESH LOCATION=<VALUE>SPACING=<VALUE>

Y.mesh définit le maillage dans la direction Y.

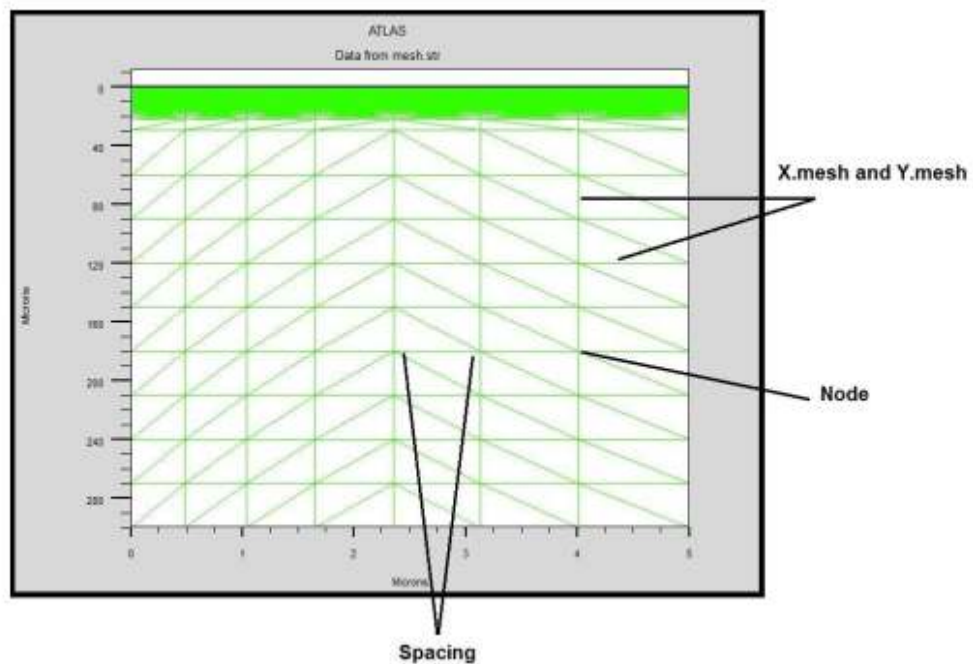


Figure II.6 : Exemple Mesh d'atlas [8]

Les régions

Après avoir défini le maillage, il est nécessaire de définir les régions dont le format de définition des régions est le suivant:

REGION nombre = < intègre >< material_type > / < position des paramètres >

Les régions doivent être numérotées du 1 jusqu'au maximum nombre de régions existantes sur la structure. Sur le simulateur Atlas il est possible de représenter jusqu'à 55 régions différentes.

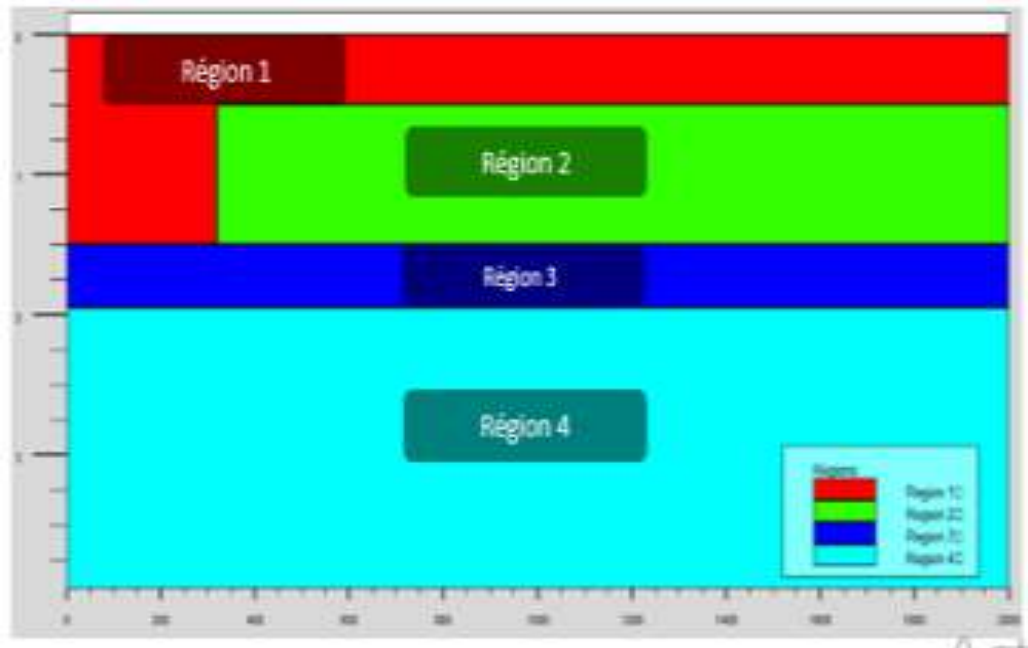


Figure II.7 : Structure avec différentes régions [10]

Les électrodes

« Atlas » a une limite de 50 électrodes qui peuvent être définies. Le format de définition d'électrodes est comme suit :

ELECTRODE NAME = < nom de l'électrode >< position des paramètres >

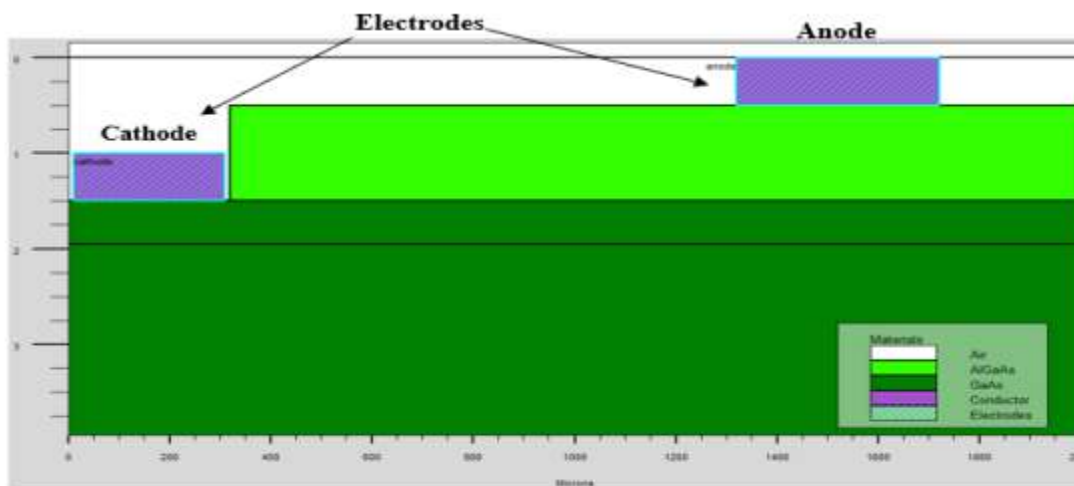


Figure II .8 : Structure après définition des électrodes [10].

Le dopage :

Le dernier aspect de la spécification de la structure qui doit être défini est le dopage. Le format de la déclaration de dopage dans « Atlas » se présente comme suit :

DOPAGE < type de distribution >< type de dopant > / < position des paramètres >

Le dopage peut être uniforme ou gaussienne.

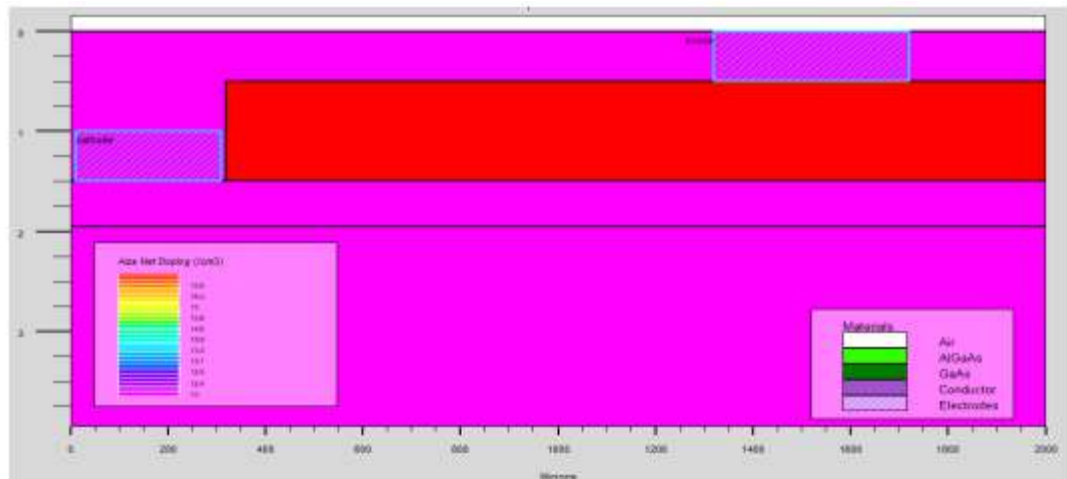


Figure II.9 : Structure après le dopage.

IV.5.2. Spécification des paramètres des matériaux et modèles physique

Après la définition de la structure, il faut spécifier les modèles des matériaux, elle se compose de quatre parties : matériau, modèles, contact et interface.

➤ Matériaux

Le format de la déclaration d'atlas pour les matériaux est comme suit [5]:
MATERIAL < identification >< paramètre de matériau >Plusieurs paramètres peuvent être identifiés pour le matériau d'une région donné

➤ Modèles

Les modèles physiques se répartissent en cinq catégories : la mobilité, la recombinaison, les statistiques des transporteurs, l'impact ionisation, et l'effet tunnel. La syntaxe de la déclaration des modèles et comme suit *MODEL*< paramètres généraux > / < paramètres du modèle>Le choix du modèle dépend des matériaux choisis pour la simulation

➤ **Contacts**

Le contact détermine les attributions des électrodes. La syntaxe du contact est la suivante [5]:

Contact name = < name >< property_specification >

➤ **Interface**

Les limites des semi-conducteurs ou des isolants sont déterminées par la déclaration «interface». La syntaxe est la suivante

: INTERFACE <paramètres><interface_dimensions >

IV.5.3. Sélection de la méthode numérique Après la spécification des modèles des matériaux, le choix de méthode numérique doit être spécifié.

La seule déclaration qui s'applique à la sélection de la méthode numérique est la déclaration Méthode. Une variété de méthodes numériques existe pour calculer les solutions [5] : La méthode découplée (*Gummel*) : la méthode *Gummel* résout les équations pour chaque inconnues en gardant tous les autres inconnues constante. Le processus est répété jusqu'à ce qu'il y soit une solution stable. La méthode couplée (*Newton*) : la méthode de *Newton* résout les équations pour toutes les inconnues simultanément. *Block* : la méthode des blocks résout certaines équations avec la méthode *Gummel* et des autres avec la méthode de *Newton*. La méthode *Gummel* est utilisée pour un système d'équations qui sont faiblement couplées et quand il y a une convergence linéaire. La méthode de *Newton* est utilisée lorsque les équations sont fortement couplées et que la convergence est quadratique [5]. L'exemple suivant montre l'utilisation de la déclaration de la méthode : *Methodnewtontra* La méthode est celle de Newton, *trap c*'est pour diviser le pas de la tension. Cette division peut être limitée par un nombre par exemple *trap=20*, s'il y a problème de convergence.

IV.5.4. Spécification de Solution

Après avoir terminé la sélection de la méthode numérique, la prochaine étape est la spécification de la solution. La spécification de la solution se décompose en ces déclarations *Log*, *solve*, *Load*, et *Save*.

➤ **Log**

Log enregistre toutes les caractéristiques finales dans un fichier. Des données DC, transitoire, ou AC sont générés par la déclaration *Solve* après l'enregistrement d'une déclaration *Log*.

L'exemple suivant montre un exemple de la déclaration *Log* [5].

Log outf=IVdark_.log

➤ **Solve**

La déclaration *Solve* suit la déclaration *Log*, *Solve* effectue une solution pour un ou plusieurs points de polarisation [5]. Cette déclaration est sous le format suivant : *Solve < bias_points >*

IV.5.5. Analyse des Résultats

Une fois que la solution est trouvée pour un problème du dispositif semi-conducteur, les informations peuvent être affichées graphiquement avec l'instruction *TonyPlot*. En outre, les paramètres du dispositif peuvent être extraits par la déclaration *Extract* [5].

Chapitre III :
Résultats et
Interprétations

III.1: Introduction

Dans le chapitre précédent nous avons donné un aperçu du logiciel de simulation SILVACO que nous allons utiliser. Ce troisième chapitre est consacré à l'étude d'une diode électroluminescente LED multi-puits quantiques émet dans le violet ($0,41 < \lambda < 0,44 \mu\text{m}$) à base d'hétérojonctions GaN/In_xGa_{1-x}N. Dans ce contexte, nous allons présenter le diagramme énergétique d'une d'hétérojonction GaN/InGaN, le diagramme d'un puits de potentiel, les paramètres technologiques et physiques de la diode étudiée ainsi que les résultats de la simulation et leurs discussions.

III.2 Hétérojonction GaN/InGaN

Une hétérojonction GaN/InGaN est la juxtaposition de deux semi-conducteurs différents: le binaire GaN d'un côté et l'alliage InGaN de l'autre côté. Sachant que le gap de GaN est supérieur à celui d'InGaN, il en résulte une hétéro-structure où GaN joue cette fois-ci le rôle de barrière et l'alliage InGaN joue le rôle de puits [1], la figure suivante représente un diagramme énergétique de cette hétéro-structure, où nous pouvons remarquer l'existence d'un puits de potentiel au niveau de la bande de valence à l'interface de deux matériaux.

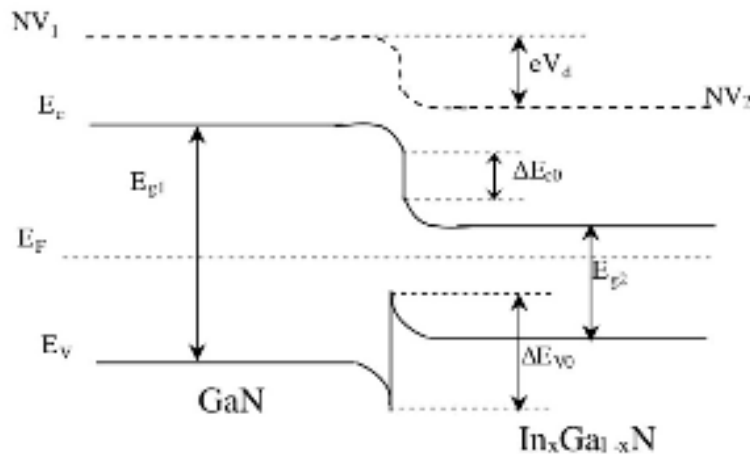


Figure III.1: Diagramme énergétique d'une hétérojonction GaN/InGaN [1]

III.3: Description de la structure simulée

La structure simulée est une diode électroluminescente multi-puits quantique (MQW) à base de GaN/InGaN, cette structure se constitue de trois régions principales :

- La 1^{ère} région GaN de type **P** d'épaisseur de 0,4 μm .
- La 2^{ème} région (région active) constituée par sept couches : InGaN/GaN **intrinsèques** qui forme quatre puits quantique.
- La dernière région GaN de type **N** d'épaisseur de 4 μm , constituée en même temps le substrat.

Un schéma représentatif de cette structure est représenté sur la figure suivante.

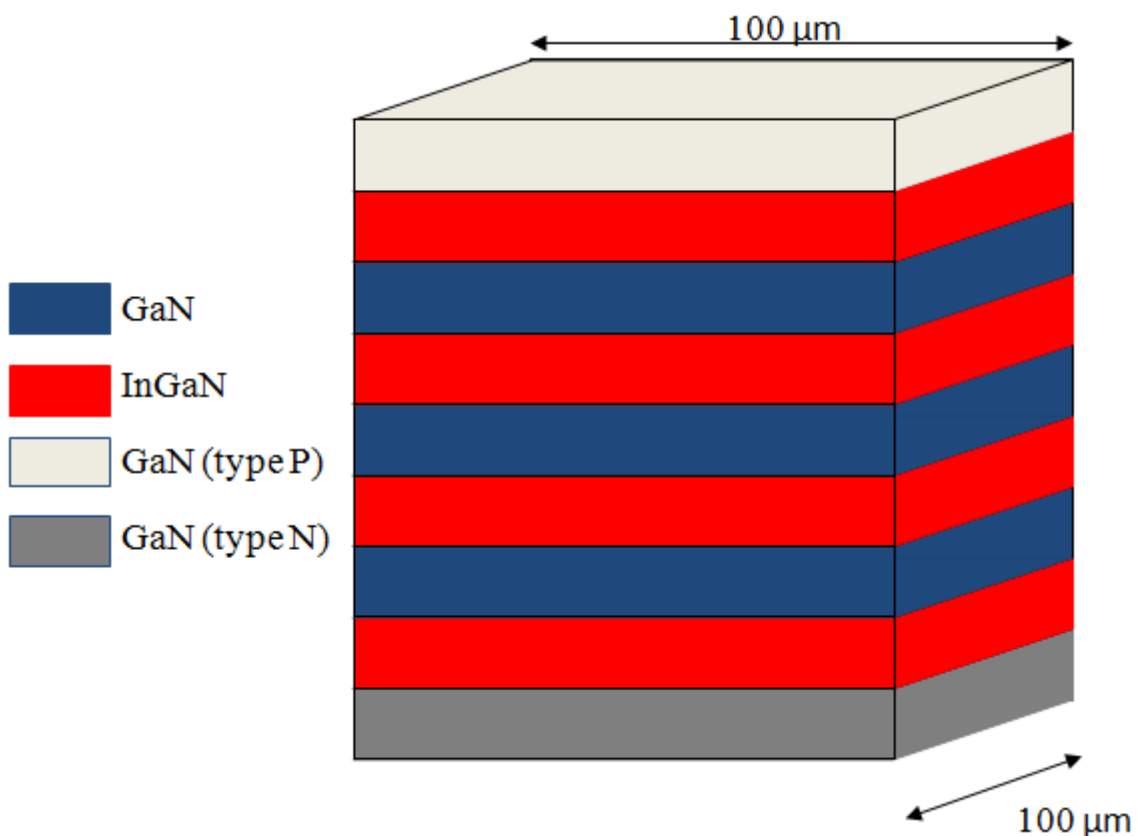


Figure III-2: Schéma représentatif de la structure simulée.

III.4. Paramètres de la simulation

Le tableau suivant résume les paramètres technologiques, géométriques et physiques pour simuler la LED représentée précédemment (figure III.2).

| |
|---|
| Matériaux : GaN ; $E_g = 3,4 \text{ eV}$ / $\text{In}_x \text{Ga}_{(1-x)}\text{N}$ avec, $x = 0,15$; $E_g = 2.7 \text{ eV}$ |
| Structure (multi-hétéro-structures avec 4 multi-puits quantiques 4MQW) |
| Surface $S = 100 \times 100 = 10^4 \mu\text{m}^2$ |
| Région 1 : GaN de type p dopée avec $N_A = 10^{20} \text{ cm}^{-3}$, épaisseur $0,4 \mu\text{m}$ |
| Région 2 |
| Couche1 : InGaN intrinsèque, épaisseur $0,01 \mu\text{m}$ |
| Couche2 : GaN intrinsèque, épaisseur $0,02 \mu\text{m}$ |
| Couche3 : InGaN intrinsèque, épaisseur $0,01 \mu\text{m}$ |
| Couche4 : GaN intrinsèque, épaisseur $0,02 \mu\text{m}$ |
| Couche5 : InGaN intrinsèque, épaisseur $0,01 \mu\text{m}$ |
| Couche6 : GaN intrinsèque, épaisseur $0,02 \mu\text{m}$ |
| Couche7 : InGaN intrinsèque, épaisseur $0,01 \mu\text{m}$ |
| Région 3 : GaN de type N dopée avec $N_D = 2.10^{18} \text{ cm}^{-3}$, épaisseur $4 \mu\text{m}$ (substrat) |
| Paramètres physiques |
| $T = 300 \text{ K}$ |
| $\mu_n (\text{InGaN}) = 400 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ |
| $\mu_p (\text{InGaN}) = 30 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ |
| $\mu_n (\text{GaN}) = 300 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ |
| $\mu_p (\text{GaN}) = 20 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ |
| $\tau_n = \tau_p = 10^{-9} \text{ s}$ |

Tableau III-1 : Paramètres de la simulation

III.5 Puits de potentiel

La figure (III-3) présente le diagramme énergétique à l'équilibre thermodynamique d'un des puits de potentiel (**GaN/In_{0,15}Ga_{0,85}N**) constituent la région active de la diode étudiée, en peut remarquer l'existence de deux puits quantiques - de $0,35 \text{ eV}$ pour chaque un- parallèles aux niveau des bandes de conduction et de valence, ces puits quantiques favorise le phénomène de recombinaison radiative et par conséquent l'émission de la lumière d'une énergie $h\nu > E_g$

(E_g est le gap de InGaN est égale à 2,7 eV). D'autre part ces puits quantiques consomment aussi plus d'énergie électrique, donc pour obtenir un bon rendement optique, il faut faire une étude simulatrice sur la région active et choisir de meilleurs paramètres.

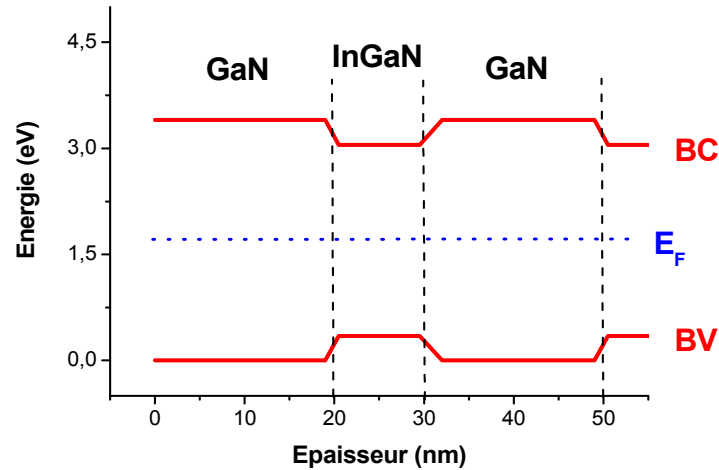


Figure III.3 : le diagramme énergétique

III.6 : Résultats de la simulation

III.6.1 Programme de simulation

Toutes les phases du programme de la simulation sont présentées en détail dans l'annexe à la fin de ce manuscrit.

Pour visualiser les résultats obtenus par la simulation, en utilisant le fichier « Tony plot ». Généralement le logiciel fourni les résultats de la simulation d'une manière direct sous forme de courbes et de tableaux selon l'instruction demandée, avec notre programme on peut extraire les courbes suivantes:

- La structure de la diode
- Les Mesh (Maillage).
- Les caractéristiques I-V et P-V de la diode.
- Le spectre d'émission.
- La puissance lumineuse fournie par la diode en fonction de la tension électrique appliquée.
- La puissance lumineuse fournie par la diode en fonction du courant électrique.
- La concentration des porteurs de charge (électrons et trous) le long de l'épaisseur de la diode.

III.6.2 Caractéristique P-V

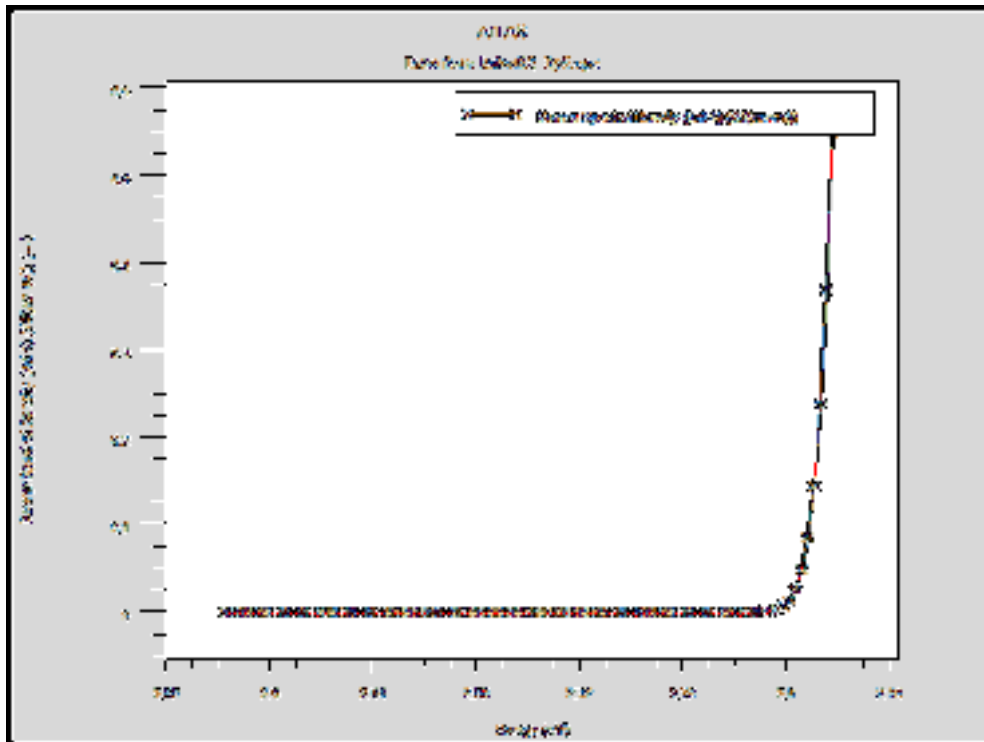


Figure III.4 : Variation de la puissance électrique en fonction de la tension de polarisation

Sur la figure (III-3, nous avons présenté la variation de la puissance électrique en fonction de la tension de polarisation. Cette caractéristique est similaire de celle de la diode ordinaire avec une tension de seuil assez élevée ($V_{th} = 2,8 \text{ V}$), cette augmentation de la tension de seuil est due de la consommation de l'énergie électrique au niveau des puits de potentiel pour produit de l'énergie lumineuse.

III.6.3: Spectre d'émission

La lumière émise par une LED est due à des recombinaisons radiatives spontanées .La caractéristique spectrale (intensité émise - énergie des photons ou longueur d'onde) de la LED simulée dans ce travail est représenté dans la figure III-5. Ce spectre de forme gaussien représente les caractéristiques suivantes :

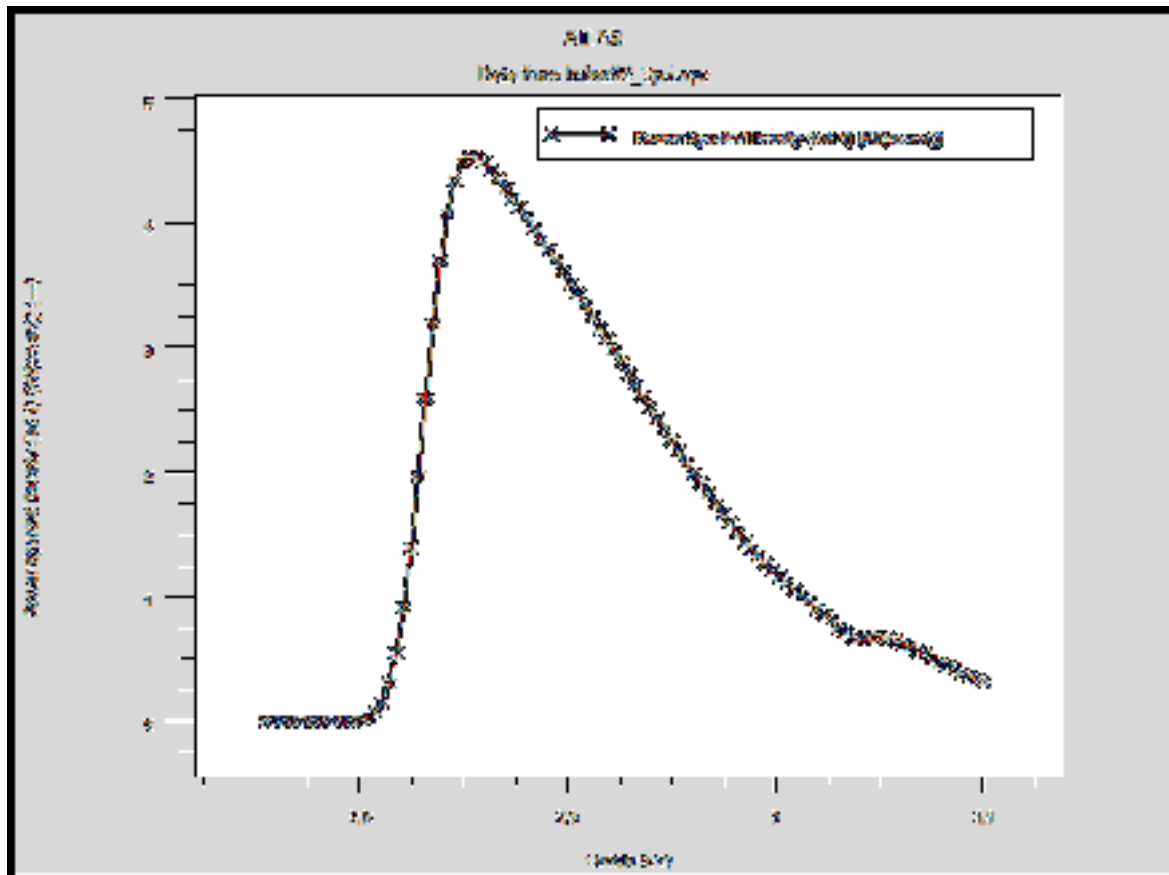


Figure III.5 : Spectre d'émission de la LED étudiée

- L'énergie des photons émet $h\nu$ est entre 2,8 et 3,2 eV correspondant à la longueur d'onde : $0,387 < \lambda < 0,443\mu\text{m}$.
- La largeur à mi-hauteur en énergie $\Delta h\nu$ est de 0,10 eV.
- Le maximum d'intensité correspond à des photons d'énergie de 2,85 eV ce qui correspond à une longueur d'onde au sommet $\lambda_{\text{pic}} = 0,435 \mu\text{m}$ (c'est-à-dire la lumière violet).

III.6.4: Puissance optique fournit

La figure (III-6) représente la variation de la puissance optique fournit par la led étudié en fonction de la tension de polarisation. On peut deviser cette courbe en deux régimes :

- Pour $0 < V < 2,8 \text{ V}$, où la puissance optique est nulle, donc il n'est pas d'émission de photons, et la tension appliquée reste inférieure de la tension de seuil V_{th} ($V_{\text{th}} = 2,8 \text{ V}$). Cette perte de tension s'interprète par l'existence de barrières de potentiel au niveau des

interfaces entre les différentes couches constitutives de la diode, dont les puits de potentiel et la tension de diffusion entre la région P et la région N.

- Pour $V > 2,8$ V, la tension appliquée est supérieure de la tension de seuil, un courant électrique apparaît, donc une puissance électrique qui sera convertie à une puissance optique avec certain rendement quantique, cette puissance lumineuse est proportionnelle au courant électrique injecté dans la zone active de la diode.

III.6.5: Distribution de concentration des électrons en fonction de l'épaisseur

Pour enrichir l'étude physique, la figure III.7 représente la distribution de la concentration des électrons en fonction de l'épaisseur de la LED étudié, on peut remarquer sur cette figure l'existence de certain nombre de pics au niveau de la région active où la concentration des électrons atteint sa valeur maximal ($n = 2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$) pour une épaisseur de $0,47 < e < 0,50$ μm , ces pics représentent le stockage des électrons au niveau des puits de potentiel existents dans cette région.

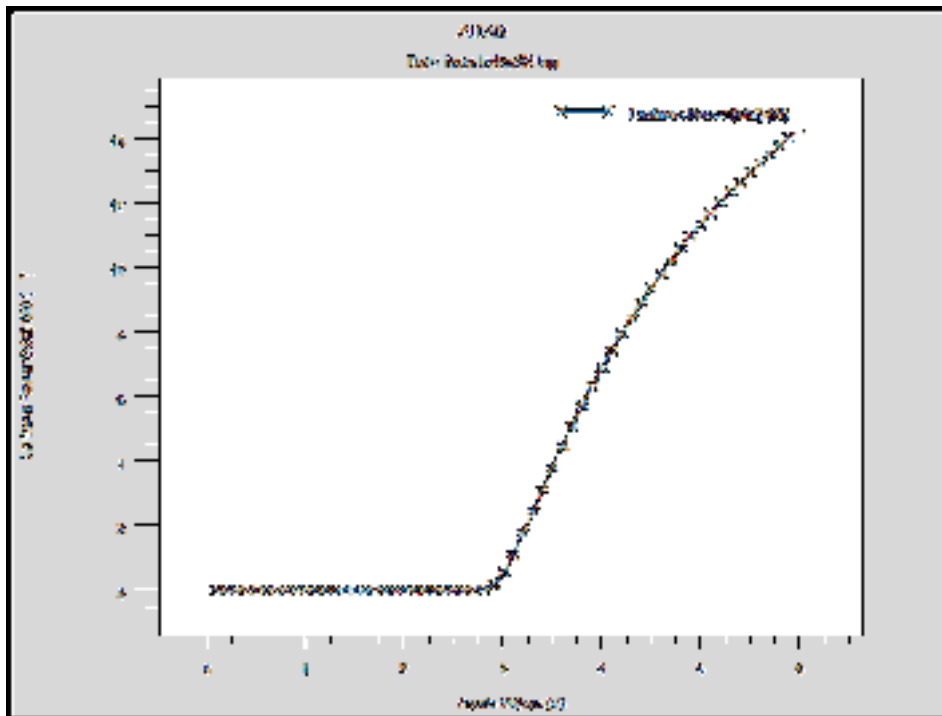


Figure III.6: Variation de la puissance optique en fonction de la tension de polarisation

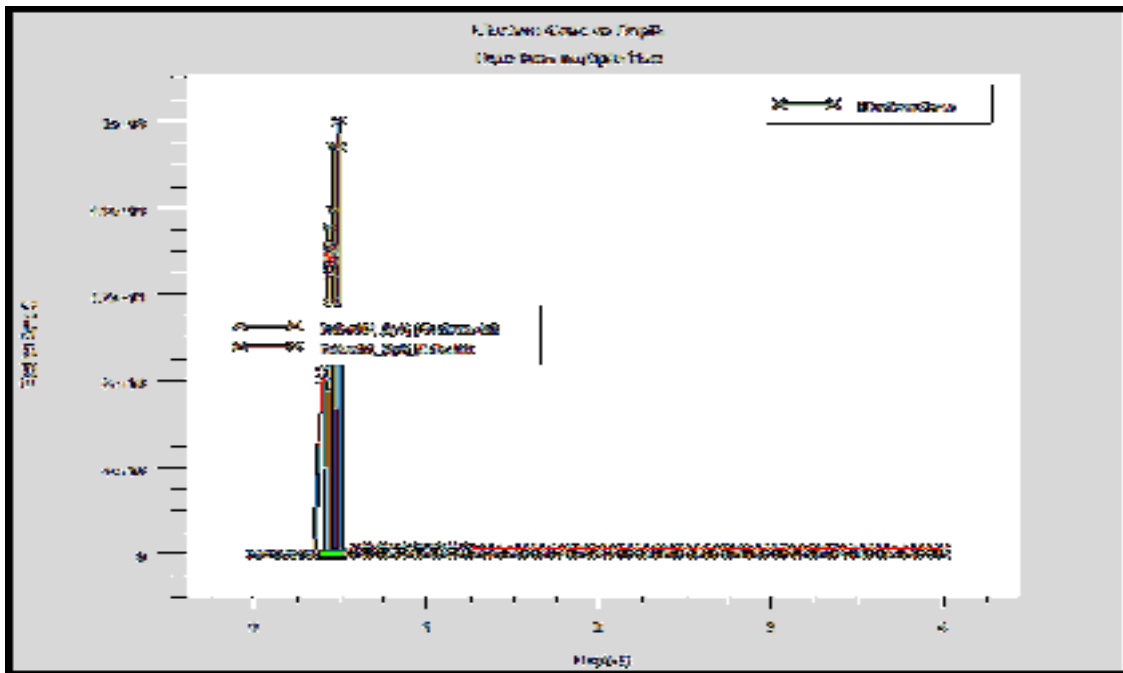


Figure III.7 : Distribution de concentration des électrons en fonction de l'épaisseur de la LED

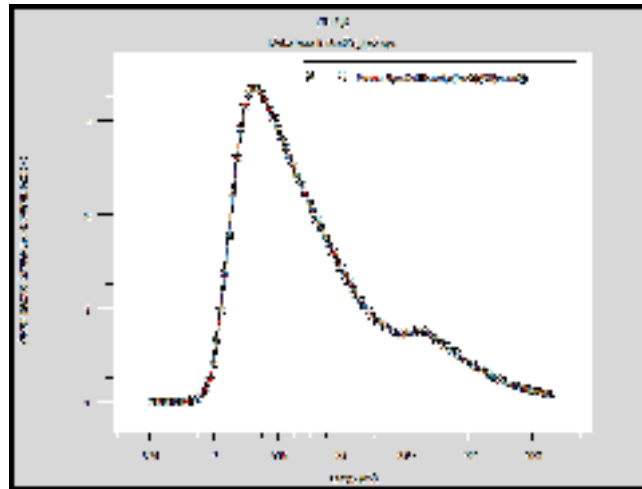
III.7: Effet de la concentration de l'indium sur le spectre d'émission

La figure III.8 (a, b et c) représente le spectre d'émission de trois LED avec mêmes paramètres physiques et géométrique sauf la concentration de l'indium (x) dans l'alliage d'InGaN, c'est-à-dire on change le matériau constituant la couche active et par conséquent la barrière énergétique dans le puits de potentiel, le paragraphe suivant résume les résultats obtenus.

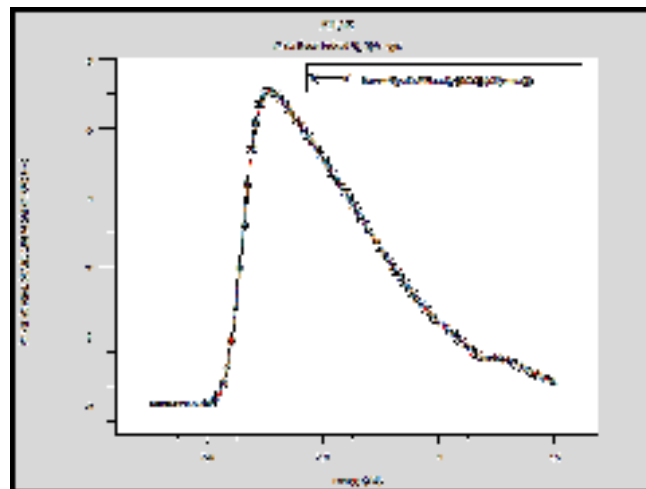
- ✓ Pour $x = 0,1$ c'est-à-dire le matériau est $\text{In}_{0,1}\text{Ga}_{0,9}\text{N}$
 - $3,0 < h\nu < 3,3$ eV correspondant à la longueur d'onde : $0,376 < \lambda < 0,413\mu\text{m}$.
 - La largeur à mi-hauteur en énergie $\Delta h\nu$ est de 0,06 eV.
 - $\lambda_{\text{pic}} = 0,409 \mu\text{m}$ (c'est-à-dire la lumière violet).
- ✓ Pour $x = 0,15$ c'est-à-dire le matériau est $\text{In}_{0,15}\text{Ga}_{0,85}\text{N}$
 - $2,8 < h\nu < 3,2$ eV correspondant à la longueur d'onde : $0,387 < \lambda < 0,443\mu\text{m}$.
 - La largeur à mi-hauteur en énergie $\Delta h\nu$ est de 0,10 eV.
 - $\lambda_{\text{pic}} = 0,435 \mu\text{m}$ (c'est-à-dire la lumière violet).
- ✓ Pour $x = 0,2$ c'est-à-dire le matériau est $\text{In}_{0,2}\text{Ga}_{0,8}\text{N}$

- $2,64 < hv < 3,1$ eV correspondant à la longueur d'onde : $0,400 < \lambda < 0,517 \mu\text{m}$.
- La largeur à mi-hauteur en énergie Δhv est de 0,16 eV.
- $\lambda_{\text{pic}} = 0,459 \mu\text{m}$ (c'est-à-dire la lumière bleu).

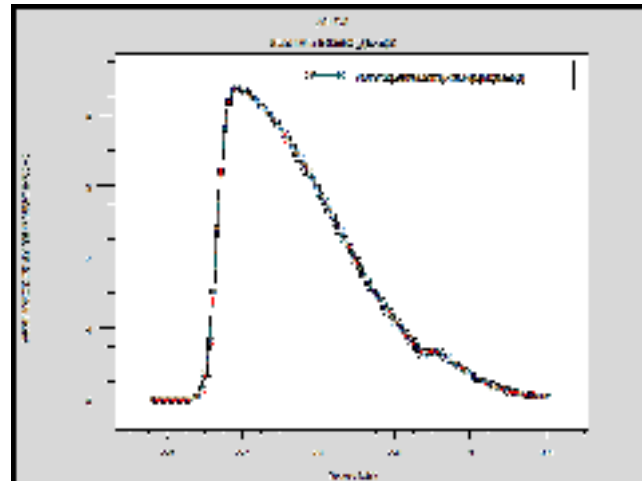
À partir de ces résultats on peut voir qu'il est possible de changer la longueur d'onde de la lumière émise, en modifiant la concentration (x) de l'indium dans l'alliage d'InGaN, l'augmentation de x provoque un changement de couleur du violet vers le bleu.



a) $x = 0,1$ pour $\text{In}_{0,1}\text{Ga}_{0,9}\text{N}$



b) $x = 0,15$ pour $\text{In}_{0,15}\text{Ga}_{0,85}\text{N}$



c) $x = 0,2$ pour $\text{In}_{0,2}\text{Ga}_{0,8}\text{N}$

Figure III-8 : Spectre d'émission pour différentes valeurs de x .

III.8 : Effet de quelques paramètres sur la puissance optique

Pour étudier l'effet d'un paramètre physique ou technologique sur une caractéristique d'un composant optoélectronique, on fixe tous autres paramètres et on change le paramètre qui sera étudié. Les paragraphes suivants résument l'effet de la surface, du dopage de la région P et de la région N sur la puissance optique fournie par la diode électroluminescente. Le but de cette étude est de choisir les meilleurs paramètres pour meilleure performance.

III.8.1 : Effet de la surface sur la puissance optique

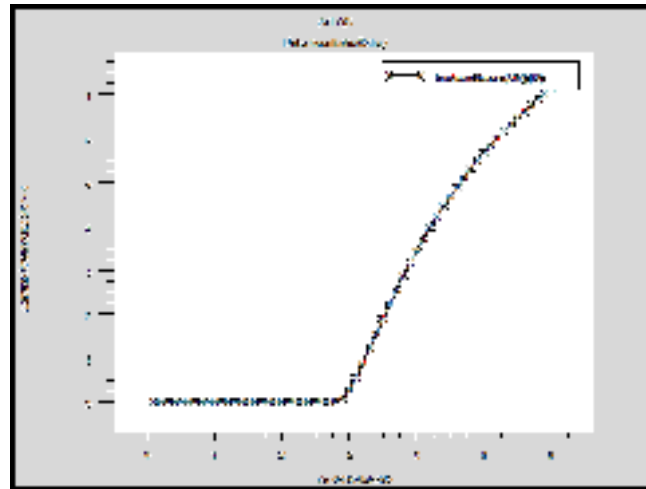
La figure (III-9) représente la variation de la puissance optique fournie par trois diodes de même paramètre avec des surfaces différentes, (a) pour $S = 0,5 \cdot 10^4 \mu\text{m}^2$, (b) pour $S = 1 \cdot 10^4 \mu\text{m}^2$ et (c) pour $S = 1,5 \cdot 10^4 \mu\text{m}^2$, les trois courbes montrent que les trois composants ont la même tension de seuil $V_{th} = 2,8 \text{ V}$, mais il est clair que la puissance fournie par la troisième LED pour des tensions supérieures à V_{th} est toujours plus importante par rapport à celle des deux autres LED et que la puissance augmente généralement avec l'augmentation de la surface de la LED.

III.8.2 : Effet du dopage de la région P sur la puissance lumineuse

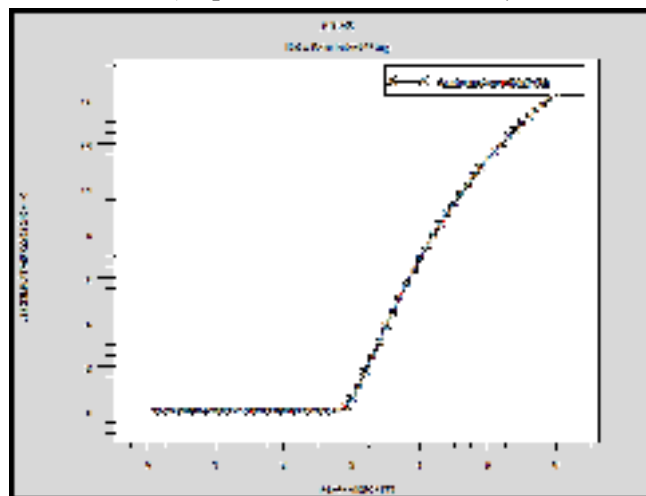
Dans cette partie on va étudier l'effet du dopage de la première région P (la région extérieure P) sur la puissance optique fournie, on prend trois diodes de même paramètre avec des dopages N_A différents (voir la figure III-10), (a) pour $N_A = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, (b) pour $N_A = 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ et (c) pour $N_A = 10^{20} \text{ cm}^{-3}$. On remarque aussi que la tension de seuil reste toujours la même, mais la puissance lumineuse pour des tensions supérieures à V_{th} augmente lorsque le dopage N_A augmente.

III.8.3 : Effet du dopage de la région N sur la puissance lumineuse

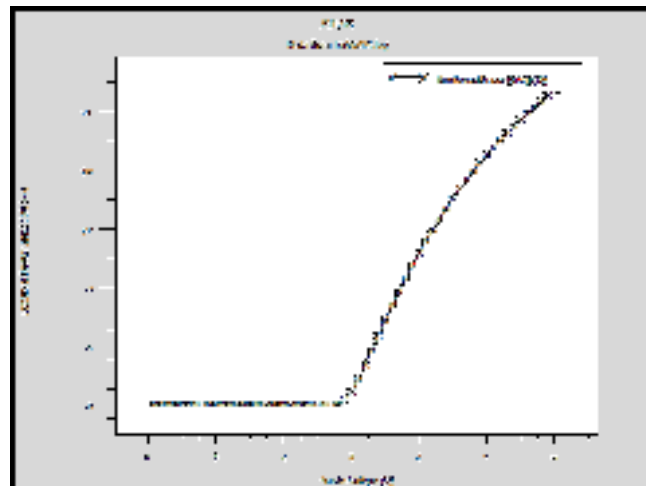
De même manière que le paragraphe précédent, la figure (III-11) représente l'effet du dopage de la région arrière N (représente aussi le substrat) sur la puissance optique fournie, (a) pour $N_D = 2 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, (b) pour $N_D = 2 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ et (c) pour $N_D = 10^{19} \text{ cm}^{-3}$. Dans ce cas aussi, on peut remarquer que la tension de seuil reste toujours la même, mais la puissance lumineuse pour des tensions supérieures à V_{th} augmente lorsque l'augmentation du dopage N_D .



a) pour surface $S = 0,5 \cdot 10^4 \mu\text{m}^2$

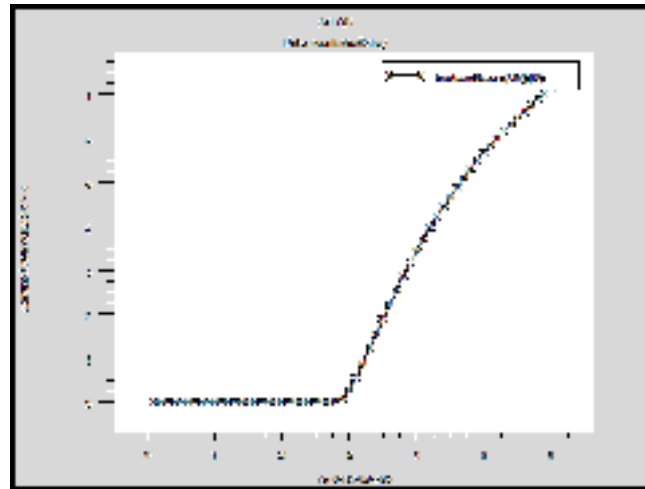


b) pour surface $S = 1,0 \cdot 10^4 \mu\text{m}^2$

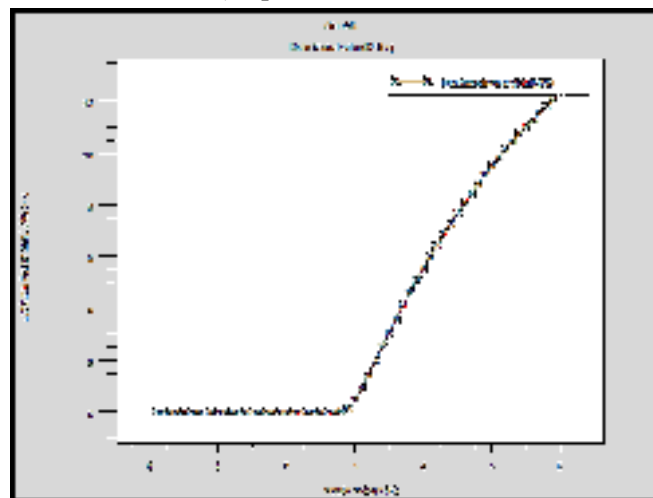


c) pour surface $S = 1,5 \cdot 10^4 \mu\text{m}^2$

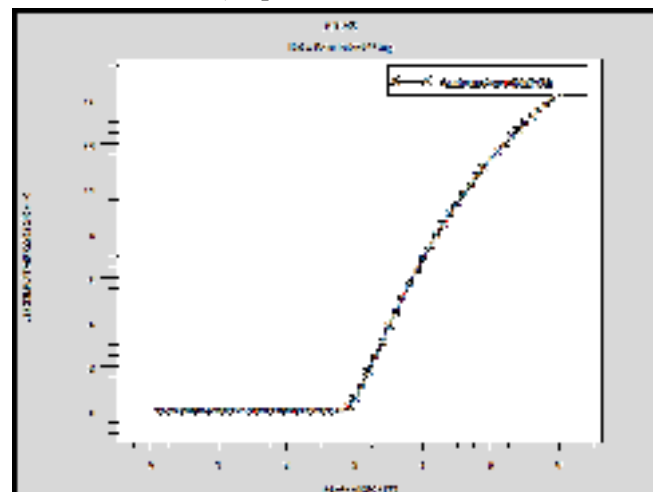
Figure III-9 : Effet de la surface sur la puissance lumineuse produite par la LED.



a) pour $N_A = 1.10^{18} \text{cm}^{-3}$

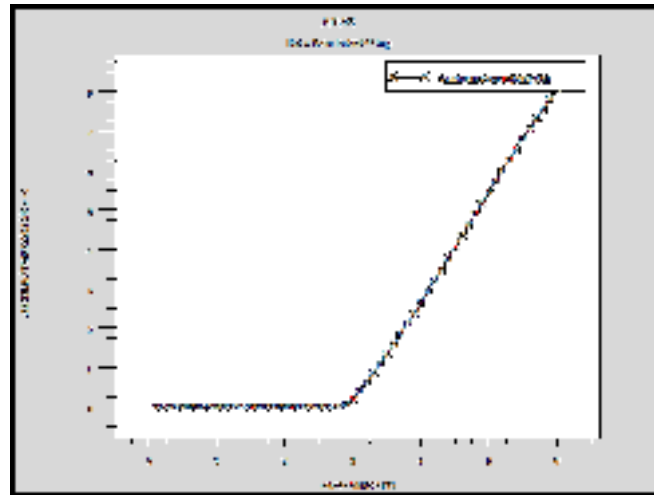


b) pour $N_A = 1.10^{19} \text{cm}^{-3}$

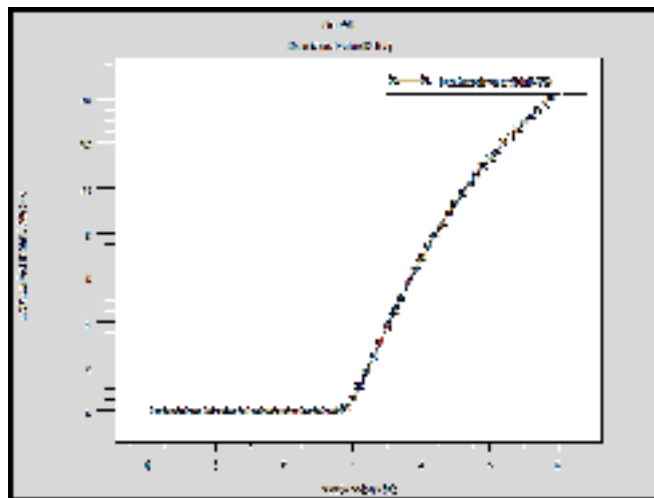


c) pour $N_A = 1.10^{20} \text{cm}^{-3}$

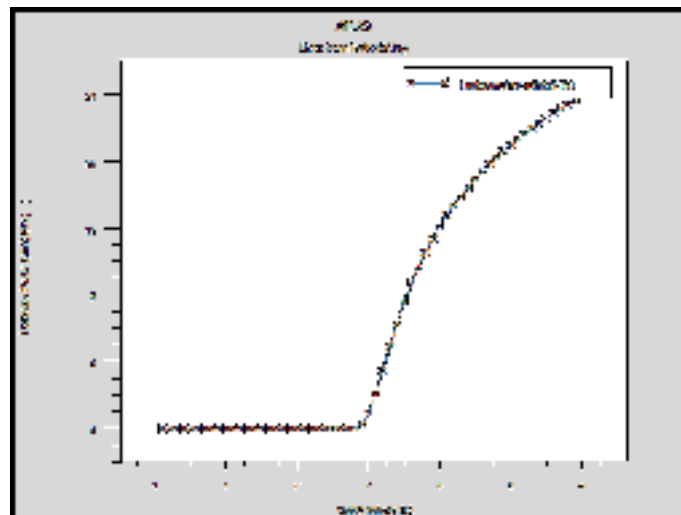
Figure III-10 : Effet du dopage de la région **P** sur la puissance lumineuse produite par la LED.



a) pour $N_D = 2.10^{17} \text{cm}^{-3}$



b) pour $N_D = 2.10^{18} \text{cm}^{-3}$



c) pour $N_D = 2.10^{19} \text{cm}^{-3}$

Figure III-11 : Effet de de dopage de région N sur la puissance lumineuse produite par la LED.

III.9 Conclusion

Cette étude nous a permis d'améliorer notre conception de quelques phénomènes physiques de la diode électroluminescente, ainsi que l'effet de quelques paramètres technologiques et géométriques sur la performance et le comportement de la diode étudiée. Mais l'étude expérimentale reste toujours nécessaire pour toute recherche dans ce domaine.

La simulation par le logiciel atlas SILVACO (ou par autre) donne des résultats proches de ceux de l'expérience, mais en réalité il existe toujours des problèmes liés essentiellement à la limitation des techniques expérimentales utilisées. Bien que ça, la simulation reste toujours d'une importance majeure pour la conception et la réalisation de meilleurs composants qui donnent une meilleure performance.

Conclusion générale

Conclusion générale

Les diodes électroluminescentes représentent un potentiel important pour la lumière du futur, elles sont devenues en très peu de temps des produits incontournables grâce notamment aux systèmes LEDs optimisés, plus efficaces, plus lumineux, plus sûrs, plus faciles à utiliser et, en parallèle, avec une durée de vie plus accrue et une consommation de l'énergie réduite.

Dans le cadre de notre travail nous avons commencé par dresser un état de l'art des diodes électroluminescentes où nous avons représenté les points importants de cette technologie à savoir : le principe de fonctionnement des différents types de LED : homo-jonction, hétérojonction et puits quantique ainsi que leurs caractéristiques, toutes les étapes de fabrication des LEDs, problématique de l'extraction de lumière et les méthodes d'obtention de la lumière blanche. Effectivement, les propriétés optiques et physiques de quelques matériaux semiconducteurs à gap direct telle que GaAs, AlGaIn et InGaIn, leur permettent de convertir de façon efficace, l'énergie électrique en énergie lumineuse. Ces matériaux possèdent en général, un gap direct relativement élevé, capable de couvrir une grande partie du spectre visible et de l'UV. D'où, l'importance de notre deuxième partie de ce mémoire, où nous avons étudié les propriétés physiques et électriques des semiconducteurs, qui les rendent attractives pour l'optoélectronique. Nous nous sommes focalisés sur l'étude de l'alliage nitrure de gallium d'indium InGaIn qui est le matériau le plus prometteur pour les LEDs.

La deuxième partie de notre travail consacrée à une conception par simulation à l'aide du logiciel SILVACO Atlas d'une diode électroluminescente émet dans le violet à base d'InGaIn. La structure que nous avons simulée est une diode électroluminescente bleue à base de quatre puits quantique InGaIn dont l'épaisseur est de l'ordre de 0.010 μm prise en sandwich entre deux couches de GaIn dopées respectivement P⁺ et N. Ce sandwich confine dans la région active, à la fois les électrons et les trous augmentant ainsi que les recombinaisons électron trou radiatives.

L'étude nous a permis d'une part de prendre une vue générale sur les diodes électroluminescentes, les phénomènes physiques spécifiques, les différentes structures, leurs principes de fonctionnement et l'importance de choisir des matériaux correspondants aux applications demandées, et d'autre part l'utilisation du logiciel de simulation SILVACO pour simuler des composants optoélectroniques tels que les LEDs et les Lasers à semiconducteurs.

En terme de perspectives, il nous paraît l'importance de développer notre travail pour étudier le comportement de la LED simulée préalablement avec le simulateur TCAD-SILVACO en faisant varier plusieurs paramètres tels que : l'épaisseur de la couche active, la température en y insérant plusieurs puits quantiques et comparer les résultats obtenus avec ceux d'une LED comprenant un seul puits quantique.

Bibliographie

Les Références de 1^{ère} chapitre

[1] : N. Narendran, J.D .Bullough, N. Maliyagoda: «What is useful life for white light LEDs? »

Journal of the Illuminating Engineering Society, pp.57-67, 2000.

[2] : P. Mottier, P. Messaoudi: « Les LEDs: l'éclairage de futur? », Veille Technologique N° 38, pp.9-13, 18-27, 2010.

[3] :<https://fr.m.wikipedia.org>

[4] :Madani Fethia samia caractérisation des diodes LED pour la transmission par fibre optique dans un réseau local mémoire de magister 2011.

[5]A. Saidane, ‘‘Physique des semi-conducteurs’’, Tome 2, OPU, Alger, 1993.

[6] F.Lévy, ‘‘Physique et technologie des semi conducteur ‘’, presses Polytechnique et universitaire Romandes (PPUR), Paris, 1994.

[7]H. MATHIEU, ‘‘Physique des semi conducteurs et descomposants électroniques’’, Dunod, Paris, 2009

[8] :G.Zissis .JEEA, Energie et développement durable (ENS Cachan),37-46(2007).

[9] :<http://www.w3c.org/TR/1999/REC-html401-19991224/loose.dtd>

[10] :<http://www.mvd-fpga.com/fr/produitsECRAN.html>

[11] Mansour samah . "Etude et silulationdescracteristiques électriques de diode électroluminescente (LED) " mémoire de Master 2016 .

[12].nicolas.pousset "Caractérisation du rendu des couleurs des LED" thèse.2009, p. 48

[13]Belabbas Lamia ,Belabbas Ounissa "Simulation d'une diode électroluminescente organique sous ATLAS Silvaco "Mémoire de Master 2018.

[14] IEA. SolarEnergy Perspectives. 2011.

[15]H.MATHIEU, ‘‘Physique des semi-conducteurs et des composants électroniques’’, édition Dunod, Paris, 2009.

[16].Nicolas POUSSET, "caracterisation du rendu des couleurs des nouvelles sources : les diodes électroluminescente", these docteur, Paris 2009.

[17].Bouaraba.F, <etude d'une LED à base d'InGaN pour l'émission de la lumière blanch>, mémoire de magister univ. mouloudmemmeri. tiziouazou.2012

[18] Hebali khaled "etude d'un diode electro luminescente a base de GaN/AlGaN en ultra violet et en visible" mémoire de Magister 2008.

[19].S. O. Kasap, ‘‘Optoelectronics and Photonics, Principles and Practices’’, Prentice-Hall International, NJ, USA, 2001

[20].R.Baillot,"méthologie d'analyse de défaillance pour l'évaluation de la fiabilité de diode électroluminescente GaN", thèse de doctorat,université de bordeaux,2006.

[21].M.Bonzon, " FORMATION LED", Linsi-techSàrl, 2012.

[22].https://fr.wikipedia.org/wiki/Diode_%C3%A9lectroluminescente

Références Chapitre II

[1] Panayiotis Michalopoulos, " A novel approach for the development and optimization of stateof-the-art photovoltaic devices using Silvaco ", thèse de master, Naval postgraduate school, Monterey California, 2002.

[2]SILVACOInternational:www.silvaco.com(2016).

[3] R. negru, " Conception et modélisation de pixels de photo-détection Photodiodes PIN en silicium amorphe en vue de leurs utilisations comme détecteurs de particules», Thèse de doctorat(LPICM) Ecole polytechnique, Palaiseau, France, 2008.

[4] Atlas User's Manuel, Silvaco International, 2005.

[5] Baldomero Garcia. Jr, " Indium Gallium nitride multi-junction solar cell simulation using silvaco Atlas", Thèse de master, Naval postgraduate school, Monterey California, 2007.

[6]Houari Ridha, "Etude et simulation d'un transistor VDMOS avec TCAD SILVACO " mémoire de master université mouloud mammeri de tizi-ouzou 2014

[7] Belabbas lamia belabbas ounissa « simulation d'une diode électroluminescente organique sous atlas-Silvaco

[8] FRITAH ABDALLAH « Extraction des paramètres électrique d'une diode à barrière de Schottky (SBD) à base de phosphure d'indium de type n (n-InP) par I-V-T et C-V-T »thèse doctorat Université Mohamed Khider – Biskra

[9] BouAraba Fazia etude d'une LED a base d'InGaN poure l'émission de la lumière blanche mémoire de Magister 2012.

[10] Lamia MEDJOU DJ « Simulations d'une diode Schottky à base d'AlGaAs »Mémoire master NIVERSITE MOULOU D MAMMERI, Algerie2015.

Référence de Chapitre III

[1] Hebali Khaled "Etude D'une Diode Electroluminescente A Base De Gan/Aigan En Ultra-Violet Et En Visible" Le Diplome De Magister .Universite D'oran 2007/2008

Annexe

Programme de simulation

```

# Bismi Allahi Errahmani Errahim
go atlas
# InGaN LED Opto Device Simulation
# one Dimensional Structure
# surface S = 10000 μm2
mesh width=10000
#
x.mesh loc=0.0   spac=0.5
x.mesh loc=1     spac=0.5
#
y.mesh loc=0.0   spac=0.05
y.mesh loc=0.1   spac=0.05
y.mesh loc=0.4   spac=0.05
y.mesh loc=0.41  spac=0.005
y.mesh loc=0.43  spac=0.01
y.mesh loc=0.44  spac=0.001
y.mesh loc=0.46  spac=0.001
y.mesh loc=0.47  spac=0.005
y.mesh loc=0.49  spac=0.005
y.mesh loc=0.50  spac=0.10
y.mesh loc=4.000 spac=0.10
#
region number=1 y.max=0.4 material=GaN
#
# 4 MQW
#
region number=2 y.min=0.4 y.max=0.410 material=InGaN x.comp=0.15
name=well led qwell
region number=3 y.min=0.410 y.max=0.430 material=GaN
region number=4 y.min=0.430 y.max=0.440 material=InGaN x.comp=0.15
name=well led qwell
region number=5 y.min=0.440 y.max=0.460 material=GaN
region number=6 y.min=0.460 y.max=0.470 material=InGaN x.comp=0.15
name=well led qwell
region number=7 y.min=0.470 y.max=0.490 material=GaN
region number=8 y.min=0.490 y.max=0.500 material=InGaN x.comp=0.15
name=well led qwell
region number=9 y.min=0.500 y.max=4.000 material=GaN
#
electrode name=anode   top
electrode name=cathode bottom
#
doping region=1 uniform p.type conc=1e20
# doping 2~8 intrinsic
doping region=9 uniform n.type conc=2e18
#
models polarization calc.strain polar.scale=0.10

material material=GaN taun0=1e-9 taup0=1e-9 copt=1.1e-8 \
          augn=1.0e-34 augp=1.0e-34
material material=InGaN taun0=1e-9 taup0=1e-9 copt=1.1e-8 \

```

```
augn=1.0e-34 augp=1.0e-34
material material=InGaN taun0=1e-9 taup0=1e-9 copt=1.1e-8 \
augn=1.0e-34 augp=1.0e-34
#
material well.gamma0=10e-3
#
material edb=0.080 eab=0.101
#
models k.p fermi incomplete consrh auger optr print
models name=well k.p chuang spontaneous lorentz
#
mobility material=GaN mun0=300 mup0=20
mobility material=InGaN mun0=400 mup0=30
#
output con.band val.band band.param charge polar.charge e.mobility
h.mobility \
u.srh u.radiative u.auger permi
#
solve init
#
method climit=1e-4 maxtrap=10
#block nblockit=50
#
solve prev
#
save outf=ledex02_1.str
#
probe name="Radiative" integrate radiative rname=well
probe name="Recombination" integrate recombination
#
log outf=ledex02.log
solve vstep=0.1 vfinal=2.5 name=anode
save outf=ledex02_2p5.str
save spectrum=ledex02_2p5.spc lmin=0.40 lmax=0.45 nsamp=100

solve vstep=0.1 vfinal=3.0 name=anode
save outf=ledex02_3p0.str
save spectrum=ledex02_3p0.spc lmin=0.40 lmax=0.45 nsamp=100

solve vstep=0.1 vfinal=3.5 name=anode
save outf=ledex02_3p5.str
save spectrum=ledex02_3p5.spc lmin=0.40 lmax=0.45 nsamp=100

solve vstep=0.1 vfinal=4.0 name=anode
save outf=ledex02_4p0.str
save spectrum=ledex02_4p0.spc lmin=0.40 lmax=0.45 nsamp=100

solve vstep=0.1 vfinal=5.0 name=anode
save outf=ledex02_5p0.str

solve vstep=0.1 vfinal=6.0 name=anode
save outf=ledex02_6p0.str
#
# V-I Curve
tonyplot ledex02.log -set ledex02_0.set
```

```
# I-L Curve
tonyplot ledex02.log -set ledex02_1.set
# EL Spectrum
tonyplot ledex02_3p5.spc -set ledex02_2.set

# Extract the Electron And hole Conc.
extract init infile="ledex02_3p5.str"
extract name="Electron" curve(depth,impurity="Electron Conc"
material="All" \
    x.val=0.5) outfile="ledex02_3p5_Electron.dat"
extract name="Electron" curve(depth,impurity="Hole Conc"
material="All" \
    x.val=0.5) outfile="ledex02_3p5_Hole.dat"

extract init infile="ledex02_4p0.str"
extract name="Electron" curve(depth,impurity="Electron Conc"
material="All" \
    x.val=0.5) outfile="ledex02_4p0_Electron.dat"
extract name="Electron" curve(depth,impurity="Hole Conc"
material="All" \
    x.val=0.5) outfile="ledex02_4p0_Hole.dat"

extract init infile="ledex02_5p0.str"
extract name="Electron" curve(depth,impurity="Electron Conc"
material="All" \
    x.val=0.5) outfile="ledex02_5p0_Electron.dat"
extract name="Electron" curve(depth,impurity="Hole Conc"
material="All" \
    x.val=0.5) outfile="ledex02_5p0_Hole.dat"

tonyplot -overlay ledex02_3p5_Electron.dat ledex02_3p5_Hole.dat -
set ledex02_3.set

tonyplot -overlay ledex02_4p0_Electron.dat ledex02_4p0_Hole.dat -
set ledex02_4.set

tonyplot -overlay ledex02_5p0_Electron.dat ledex02_5p0_Hole.dat -
set ledex02_5.set
```

Résumé

Aujourd'hui, la diode électroluminescente est un composant de plus en plus utilisé dans des différents domaines technologiques et applications. Dans ce travail, nous avons présenté une étude simulatrice par le logiciel Atlas SILVACO d'une diode électroluminescente multi-puits quantiques (MQW) basé sur l'hétérojonctions GaN/InGaN dont l'épaisseur des puits quantiques est de l'ordre de 0.01 μm disposée en entre deux couche GaN de type Net de type P. l'étude montre que la bonne répartition de l'émission lumineuse dans la diode est obtenue s'il y a une distribution homogène des charges, entre les différents puits quantiques ce qui entraine l'augmentation du taux de recombinaisons radiatives dans les puits quantiques. Enfin, on a extrait les principales caractéristiques électriques et optiques (I-V-L) du LED comme la longueur d'onde émise, l'effet de quelques paramètres géométriques et technologiques sur la performance de la diode. Nous avons aussi étudié l'effet du taux d'indium dans la couche active sur les caractéristiques optiques de la diode notamment sur le spectre d'émission ou nous avons remarqué que le changement de taux d'indium change la couleur d'émission de la LED.

Mots clés: diode électroluminescente, puits quantiques, InGaN, GaN, caractéristiques électriques, SILVACO

ملخص

اليوم أصبح الصمام الثنائي الباعث للضوء يستخدم بشكل متزايد في مختلف المجالات مثل الإضاءة، وشاشات التلفزيون وشاشات الكمبيوتر أو الزخرفة. ويمكن أن يحل محل مصادر الضوء التقليدية، كما أنها تتجاوز تقنيات الإضاءة التقليدية بأنها انارة باردة وذلك لان اشعاعها للضوء لا يرفقه عادة إصدار حراري. يتم استخدام هذه المركبات الالكترونية في العديد من التطبيقات متعددة الألوان.

في هذا العمل قمنا بدراسة ومحاكاة الصمام الثنائي الباعث للضوء متعدد آبار الكم (MQW) استنادا إلى المواد InGaN \ GaN و بسماكة حوالي 0.01 ميكرومتر معد بين طبقتين GaN مطعم N و GaN مطعم P. من خلال الدراسة تبين لنا أنه يمكن تحسين أداء وكفاءة الضوء في الصمام عن طريق حصر متجانس في المنطقة النشطة لتركيز كل من الإلكترونات والثقوب. يتم الحصول على انبعاث جيد للضوء في الصمام الثنائي إذا تمت دراسة هندسة و عدد آبار الكم بطريقة جيدة تؤدي إلى زيادة في معدل إعادة التركيب الإشعاعي. كما أن تغيير تركيز الانديوم في الطبقة النشطة يؤدي إلى تغيير طول موجة الضوء المنبعث.

الكلمات المفتاحية: ثنائي القطب باعث لضوء، آبار الكم، InGaN، GaN، خصائص الفيزيائية،

سيلفاكو

