

Développement d'un banc de caractérisation de DEL non commerciales

¹Alexis Perreault, ¹Marie-Claude Lemieux

¹Département de physique, Cégep de Sherbrooke, Sherbrooke, QC Canada, J1E4K1
Email: alexbasket12@hotmail.com, marie.lemieux21@gmail.com

Abstract— Ce projet vise la réalisation d'un banc de caractérisation spécifique aux diodes électroluminescentes (DELs) non commerciales. Celui-ci nous permettra de caractériser l'évolution du courant en fonction de la tension d'une DELs, aussi appelé une caractérisation I(V). De plus, un spectromètre couplé avec une sphère d'intégration nous permettra de mesurer la longueur d'onde d'émission de la DEL en fonction de l'injection de courant et nous donnera une bonne approximation de l'émission angulaire de la lumière émise par la diode étudiée. Nous allons contrôler la prise de mesure grâce à une unité de source et de mesure (SMU). Nous optimiserons l'efficacité de cet appareil en développant un programme conçu à partir du logiciel LABVIEW. Ce banc d'essai est fait en partenariat avec le centre 3IT en raison de la disponibilité des infrastructures et des installations nécessaires pour la réalisation de celui-ci. Par ailleurs, le groupe de pollution lumineuse du Cégep de Sherbrooke a mis au point un système d'éclairage novateur qui reproduit le spectre lumineux du soleil. Ce système est conçu à partir de sources lumineuses DELs et d'halogènes. Ainsi, le banc de caractérisation permettra, par la suite, de caractériser les DELs présentes dans ce système d'éclairage.

Mots-clés— Diode électroluminescente, caractérisation I(V), unité de source et de mesure, jonction PN, courant de fuite, tension de seuil, LABVIEW

----- ♦ -----

1 Introduction

Les DELs sont une invention récente dans le domaine de la lumière. Grâce à ses nombreux avantages par rapport aux autres types de lumière, nous les retrouvons de plus en plus dans notre quotidien. Celles-ci sont intéressantes, car elles consomment peu d'énergie tout en ayant la possibilité de diffuser plusieurs couleurs [1]. Mais comment fonctionnent ces sources de lumière et quelles sont leurs caractéristiques? Un des principes

de fonctionnement de la DEL est la jonction PN. Cette dernière est une composante électronique sur laquelle on effectue des branchements pour alimenter la DEL. Lorsqu'on trace le graphique d'une caractérisation courant-tension d'une diode P-N, on constate qu'elle n'est pas linéaire, mais plutôt exponentielle. À l'aide de ce graphique, nous allons être en mesure de déterminer plusieurs autres caractéristiques d'une DEL, comme la tension de seuil et le courant de fuite. Ainsi, au cours de ce projet, nous allons développer un banc qui permettra de prendre facilement toutes ces mesures et de les interpréter en utilisant une unité de source et de mesure et un programme fait à partir de LABVIEW.

2 Contexte expérimentale

La lumière produite par une DEL correspond à l'effet produit par la recombinaison d'une paire électron-trou à l'intérieur d'un matériau semi-conducteur. Une DEL est une jonction PN (mise en contact de deux matériaux de dopage différent, l'un dopé N et l'autre P) qui sous polarisation électrique directe va émettre de la lumière [2]. Le côté N se trouve à être négatif, car il possède un excès d'électrons, tandis que le côté P est positif, car il est chargé positivement par un déficit d'électrons (auss appelé trou), comme le démontre la figure ci-dessous (*figure 1*) [3].

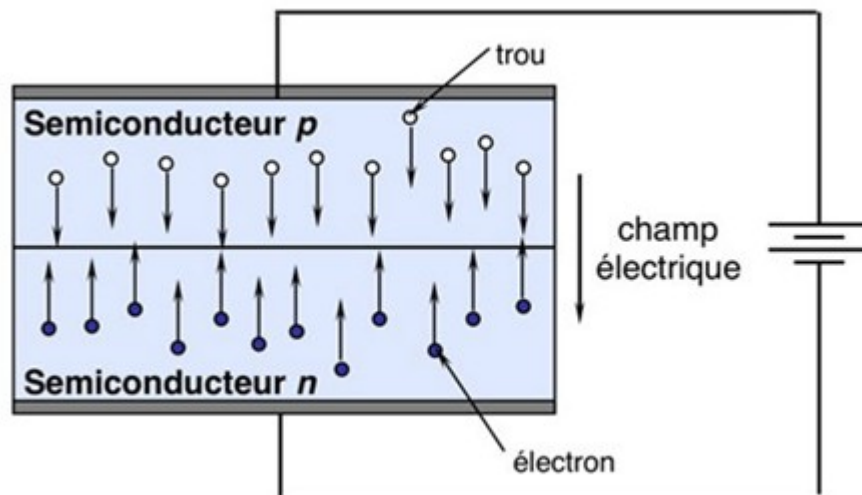


Fig. 1. L'interaction entre les électrons et les trous, tiré de <http://www.futura-sciences.com/magazines/matiere/infos/dossiers/d/physique-luminescence-tous-etats-1498/page/5/>

En appliquant un champ électrique, celui-ci permet la migration des électrons excédentaires vers les trous. Pour augmenter la probabilité de recombinaison des paires électron-trou, les porteurs sont confinés dans des puits quantiques. Ainsi, lorsque les électrons et les trous atteignent le fond du puits quantique, ceux-ci interagissent entre eux et l'énergie de bande interdite du puits quantique correspondra à la longueur d'onde émise par la DEL, voir (*figure 2*) ci-dessous.

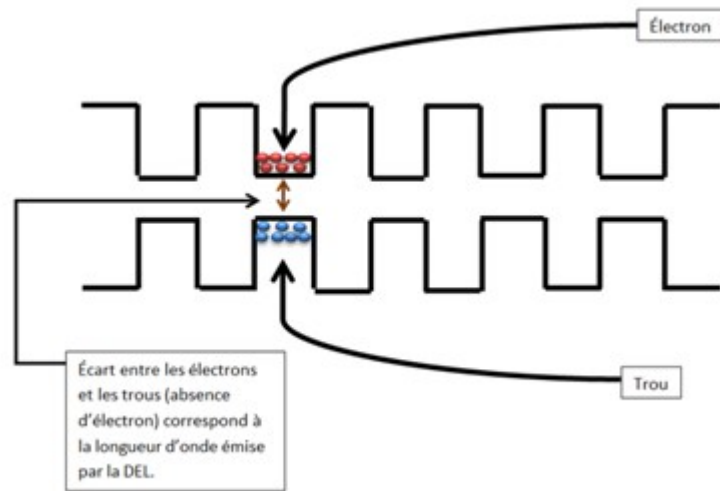


Fig. 2. L'interaction entre les puits quantiques

2.1 LA JONCTION PN

Plus précisément, qu'est-ce qu'une jonction PN ? En fait, c'est un matériau dont le dopage varie de façon brusque. La diode PN est constituée d'un semi-conducteur P et d'un de semi-conducteur N. Lorsque les deux régions sont mises en contact ensemble il en résulte la création d'une zone de déplétion. Une zone de déplétion se trouve à être l'interface entre la zone dopée P et la zone dopée N. Cette zone ne contient pas de porteurs libres et est chargée électriquement, en comparaison aux deux semi-conducteurs qui sont neutres. Le principe de la zone de déplétion est que lorsque les deux semi-conducteurs sont mis en contact, la majorité des électrons de la zone N vont être entraînés vers la zone P où ils sont minoritaires, puisque celle-ci est majoritairement composée de trous [4]. Ce déplacement permettra de laisser derrière eux des ions de charges opposées, qui, par le fait même, permettra la neutralité électrique des semi-conducteurs P et N. Ensuite, les électrons vont se déplacés vers la zone P et ils vont se recombiner avec les trous majoritaires , tel qu'illustré sur la figure 3 [5].

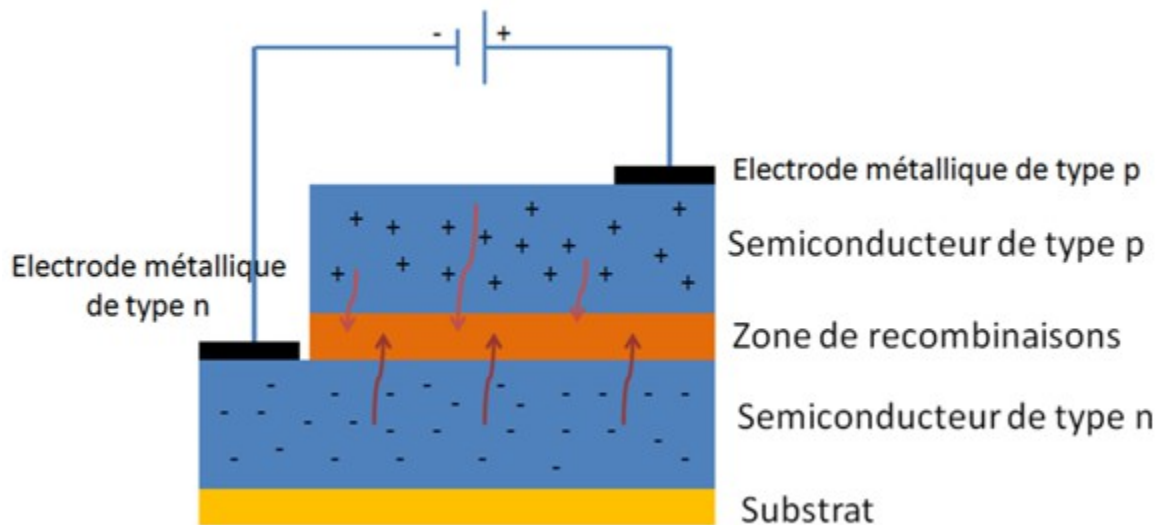


Fig. 3. Le déplacement des semi-conducteurs,
tiré de http://www.gr-univers.fr/dictionnaire/courant_electrique.php

La longueur de la zone de déplétion va varier selon la tension appliquée de part et d'autre de la jonction. Plus la zone de déplétion va être courte, plus la résistance de la jonction sera faible. La caractéristique I(V) de la jonction PN n'est donc pas linéaire, mais plutôt exponentielle, figure 4 [4].

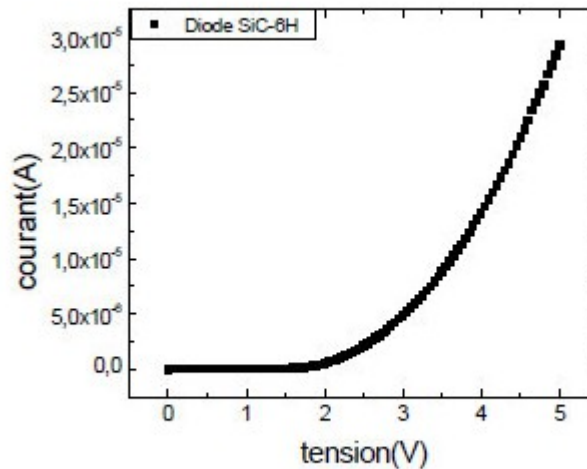


Fig. 4. Graphique d'une caractérisation I-(V),
tiré de <https://hal.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/43588/filename/1.pdf>

2.2 Caractéristiques à étudier

Les caractéristiques à étudiées sur les DELs, sont la tension de seuil, le courant de fuite et le facteur d'idéalité. D'abord, la tension de seuil est la tension qu'il faut appliquer aux bornes de la diode pour qu'elle devienne conductrice. Celle d'une diode de silicium est d'environ 0.6 à 0.07V, tandis qu'elle est de 2.18 à 2.48V pour une diode de nitrure de Gallium [1].

Pour le courant de fuite, il correspond à une perte de courant électrique d'un conducteur. Il est causé par des dispositifs électroniques (diodes) qui laissent passer une petite quantité de courant électrique, même si celle-ci est fermée. Le courant de fuite peut aussi être causé par l'impureté des matériaux utilisés pour faire la diode, car ils ne sont pas parfaitement isolés, ce qui fait décharger lentement le condensateur [6].

Avec le facteur d'idéalité (λ), on peut déterminer si notre diode est idéale. Pour que la diode soit idéale, il faut que $\lambda=1$, ou $\lambda=2$. Alors, la diode sera entièrement gouvernée par la génération de recombinaison. La génération de recombinaison est la création et destruction de paires d'électrons et de trous lors du passage d'un électron de la bande de valence à la bande de conduction par l'entremise de la bande interdite. La bande de valence correspond à la région où se trouve le semi-conducteur riche en électrons, tandis que la bande de conduction correspond à celle qui est riche en trous [7]. La bande interdite, quant à elle, est l'espace qui sépare ces deux bandes, comme le montre la figure qui suit (figure 5).

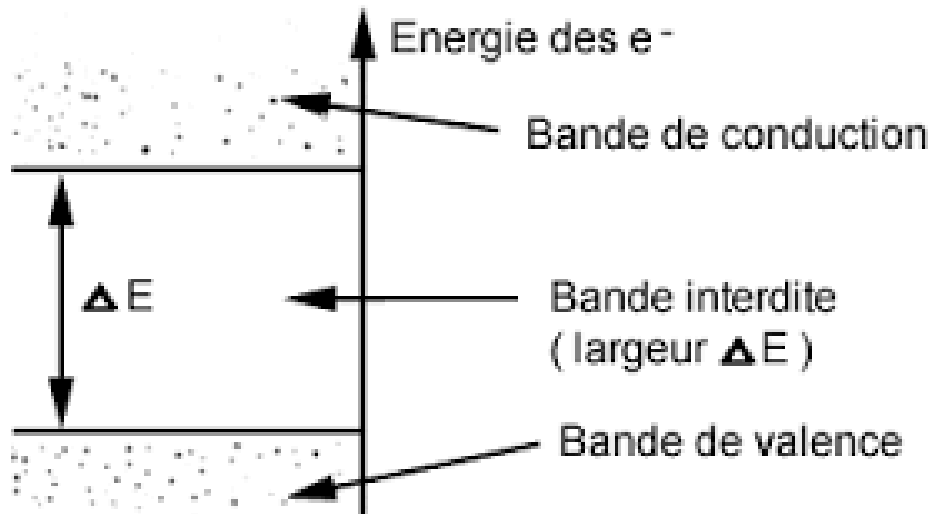


Fig. 5. Illustration d'une bande de conduction, d'une bandes de valence et de la bande interdite .

Tiré de <http://www.positron-libre.com/cours/electronique/diode/led/diode-led.php>

Dans la formule du facteur idéal (équation 1), on tient compte du courant de diffusion, du courant de génération de recombinaison et des diverses imperfections de la jonction P-N.

$$I_D = I_S \left(\exp \left(\frac{qV_j}{\lambda k_B T} \right) - 1 \right)$$

(1)

Où K_B est la constante de Boltzmann ($1,3806488 \times 10^{-23} \text{ m}^2 \text{ kg s}^{-2} \text{ K}^{-1}$), T est la température (en $^\circ\text{K}$), I_D est le courant de diffusion, I_s est le courant de saturation (courant inverse de la jonction) et q est la charge de l'électron [8].

2.3 L'unité de source et de mesure

Pour faire une caractérisation I -(V), on peut utiliser une unité de source et de mesure (SMU). L'unité source-mesure est un type d'équipement de test qui est capable de faire l'approvisionnement et la prise de mesures en même temps. Le SMU est un modèle particulier d'instrument qui peut fonctionner comme une source de courant constante ou comme une source de tension constante. Elle peut être une source simultanée à une paire de bornes en même temps de mesurer le courant ou la tension à travers ces bornes. Normalement, quand un SMU est en mode source de tension constante, il mesure le courant à travers les bornes. Quand il fournit le courant constant à travers les bornes, il mesure la tension accumulée sur ces bornes. Il permet de faire des tests automatiques, qui sont transférés dans un ordinateur par interface USB et où l'on peut, par la suite, tracer un graphique avec les données obtenues [9].

2.4 Méthodologie

- L'expérience est effectuée dans une chambre noire, illustrée dans la figure ci dessous (figure 6), car nous allons calculer la lumière émise par notre DEL et nous ne voulons pas que la lumière environnante fausse nos données.

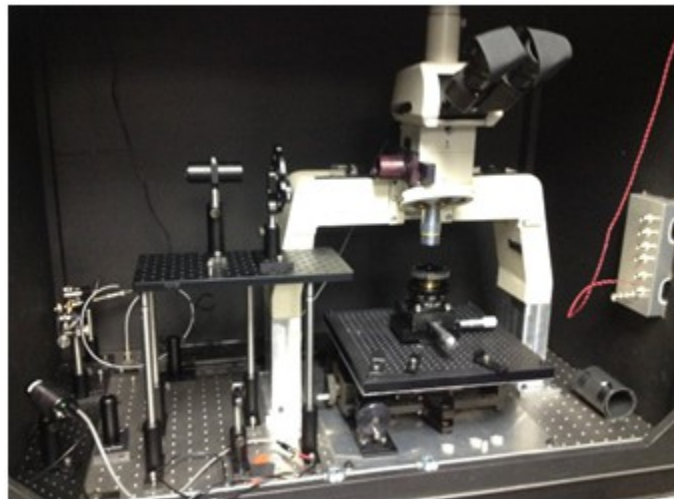


Fig. 6 Chambre noire dans laquelle nous ferons notre banc de caractérisation

- Pour ne pas perdre de lumière émise par la DEL, nous allons sûrement utiliser une sphère d'intégration ou placer le spectromètre à différent angle de la DEL.
- Nous devons aussi créer le programme de prise de données par le SMU à l'aide du logiciel LABVIEW afin que l'appareil soit complètement automatisé et que nous sauvions énormément de temps.

- Afin d'alimenter les DELs, nous utiliserons deux pointes chargées positivement et négativement, respectivement, et nous feront le contact sur les DELs à l'aide de celles-ci et d'un microscope. La pointe chargée positivement ira sur la jonction P et celle qui sera négative ira sur la jonction N. Avec un grossissement au microscope, voici à quoi ressemblent ces jonctions* (*figure 6*).

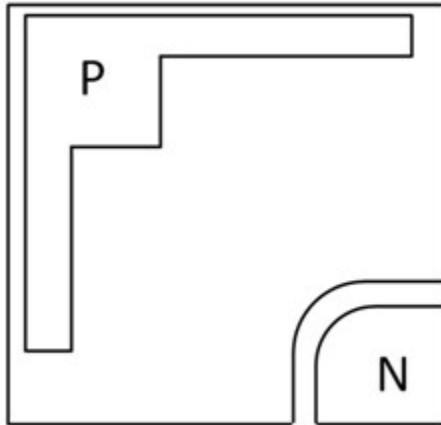


Fig. 7. Les jonctions PN avec un grossissement au microscope

*À noter que cette figure sera d'une teinte dorée lors de l'observation.

- La source SMU injectera du courant dans les pointes, qui chargeront la DEL tout en prenant la mesure du courant utilisé par la DEL afin de calculer sa tendance $I(V)$. La sphère d'intégration qui se trouvera autour de la DEL sera reliée à un spectromètre qui notera l'émission totale de la DEL, sans pertes. Le problème est que nous ne pouvons alimenter la DEL avec les pointes si celle-ci se trouve dans la sphère d'intégration. Nous devons donc trouver une alternative.
- Après avoir réussi à mesurer le courant de fuite, la tension de seuil et la lumière émise par la DEL, nous serons en mesure d'établir son facteur d'idéalité et de conclure la caractérisation de celle-ci.
- Nous allons faire la caractérisation de trois types de DELs avec des couches d'étalement de courant différent, soit:
 - Ni/Au (5nm/ 5nm)
 - Graphène
 - NiO

Les couches d'étalement de courant permettent d'uniformiser l'injection de trous dans la DELs et ainsi uniformiser l'émission de lumière. En effet, la mobilité des trous dans le matériau de type P n'est pas assez grande pour les trous puissent migrer sur toute la surface de la DEL et sans couche d'étalement de courant, l'émission de lumière n'aurait lieu qu'autour des contacts.

3 Résultats et discussion

Pour diverse raisons et circonstances, ce projet à été mis en attente, donc pour cette raison nous n'avons pas recueilli de résultats .

4 Conclusion

Comme le projet à été mis en attente pour une période indéterminée, nous n'avons pas monté notre banc de caractérisation comme prévu, ni évalué qu'elle couche d'étalement de courant aurait été le plus efficace pour uniformiser l'émission de la lumière sur les Dels. Néanmoins, nous avons établi une méthodologie assez fiable qui pourra être réutilisée pour d'autres personnes ayant l'équipement nécessaire.

5 Remerciements

Nous tenons à remercier monsieur PhD. Christophe Rodriguez de nous avoir offert l'opportunité de travailler dans les locaux du centre de recherche 3IT de l'université de Sherbrooke. Ainsi que le Cégep de Sherbrooke, pour l'organisation du cours d'intégration en recherche, enseigné par Martin Aubé, Olivier Domingue et Johanne Roby.

Références

- [1] «Diode électroluminescente» *dans wikipédia*, [http://fr.wikipedia.org/wiki/Diode_%C3%A9lectroluminescente], (consulté le 4 décembre 2014)
- [2] «Dopage (semi-conducteur) » *dans wikipédia*, [[http://fr.wikipedia.org/wiki/Dopage_\(semi-conducteur\)](http://fr.wikipedia.org/wiki/Dopage_(semi-conducteur))], (consulté le 4 décembre 2014)
- [3] « La jonction PN idéale », sur le site *polytech-lille* [<http://www.polytech-lille.fr/cours-atome-circuit-integre/bip/bip110.htm>], (consulté le 4 décembre 2014)
- [4] « Jonction P-N» *dans wikipédia*, [http://fr.wikipedia.org/wiki/Jonction_P-N], (consulté le 4 décembre 2014)
- [5] « La luminescence dans tous ces états », sur le site *FUTURA-MATIÈRE*, [<http://www.futura-sciences.com/magazines/matiere/infos/dossiers/d/physique-luminescence-tous-etats-1498/page/5/>], (consulté le 4 décembre 2014)
- [6] « Courant de fuite », sur le site *FUTURA-MATIÈRE*, [<http://www.futura-sciences.com/magazines/matiere/infos/dico/d/physique-courant-fuite-6958/>], (consulté le 4 décembre 2014)
- [7] « Population des porteurs », sur le site *polytech-lille*, [<http://www.polytech-lille.fr/cours-atome-circuit-integre/phys/sc340.htm>], (consulté le 4 décembre 2014)
- [8] « Les diodes semiconductrices », sur le site *polytech-lille*, [<http://www.polytech-lille.fr/cours-atome-circuit-integre/bip/bip221.htm>], (consulté le 4 décembre 2014)
- [9] « Qu'est-ce qu'une unité de source et mesure (SMU)? », sur le site *National Instruments*, [<http://www.ni.com/white-paper/6850/fr/>], (consulté le 4 décembre 2014)