

Physique des Semiconducteurs : Spectroscopie Partie II

Boris Alexandre Baudel - Master I de Physique - Université du Maine

Decembre 2023

1 Introduction

La Partie II de ce TP se concentre sur la caractérisation des diodes électroluminescentes à l'aide d'un spectromètre à semi-conducteurs. En exploitant la spectroscopie, nous chercherons à déterminer des caractéristiques des diodes, comme la valeur du gap énergétique et la largeur spectrale de leur émission. Ces mesures permettent non seulement de comprendre le fonctionnement des diodes mais aussi d'appréhender les concepts en physique des semi-conducteurs, tels que la formation de la jonction p-n, les transitions électroniques, et les phénomènes de recombinaison radiative.

2 Présentation du matériel

Vous avez à votre disposition un ensemble constitué d'une source de lumière blanche, de quatre diodes électroluminescentes (jaune, verte, rouge et bleue) ainsi que d'un spectromètre à semiconducteurs (spectromètre à barrettes). Une fibre optique est également reliée au spectromètre. Le matériel mis à disposition est coûteux et très fragile, aussi nous vous invitons à manipuler tous ces éléments avec la plus grande précaution. Le spectromètre permet de stocker les données dans des fichiers .dat. Il faudra les traiter sous Scilab ou Excel pour soustraire notamment les spectres de référence de la lampe.

3 Objectif des expériences

Après avoir caractérisé le spectre de la source blanche, vous effectuerez l'étude du spectre de transmission de différents matériaux et composants. Ce travail fait notamment appel à vos connaissances du premier semestre concernant les propriétés optiques des solides et d'optique cristalline.

3.1 Expliquer le principe de fonctionnement d'un spectromètre à barrettes semiconductrices

Vous pourrez vous inspirer du document fourni mais aussi d'autres sources de la littérature.

3.2 Caractérisation de la source blanche

Le schéma expérimental est donné sur la figure 1.

1. Enregistrez sur un fichier de données que vous nommerez judicieusement le spectre de la source blanche fournie. Vous le comparerez au spectre de la lumière solaire. Vous commenterez les différences. Il faudra faire au préalable « le zéro » du spectromètre.
2. La fibre optique est un objet très fragile, ATTENTION. C'est elle qui recueillera la lumière.

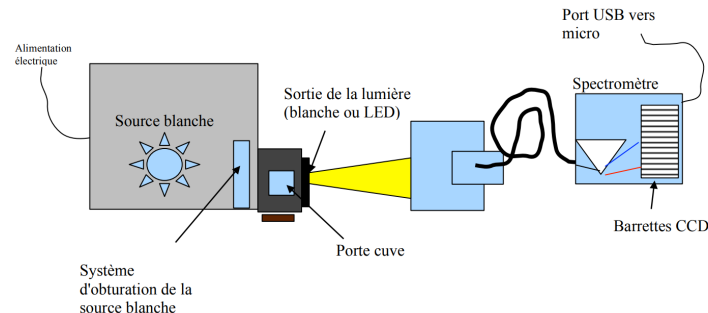


FIGURE 1 – Principe du montage optique

Une diode électroluminescente est constituée par une jonction n-p par exemple. Elle est obtenue par « collage » de deux semiconducteurs de type n et p. Au contact, les électrons excédentaires du SC n vont vers le SC p. Un excès de charge négative dans la zone p crée un champ électrique de jonction qui freine ce transfert d'électron. On arrive à une situation d'équilibre avec une Zone de Charge d'Espace (ZCE) dépendant des dopages initiaux notamment. Lorsque cette jonction n-p (= diode) est soumise à un champ électrique, les électrons se déplacent au travers de ladite jonction. En accord avec le dessin schématique ci-dessous, la zone où la recombinaison radiative entre électrons et trous est la plus importante est la zone de jonction (recombinaison radiative = transition interbande directe).

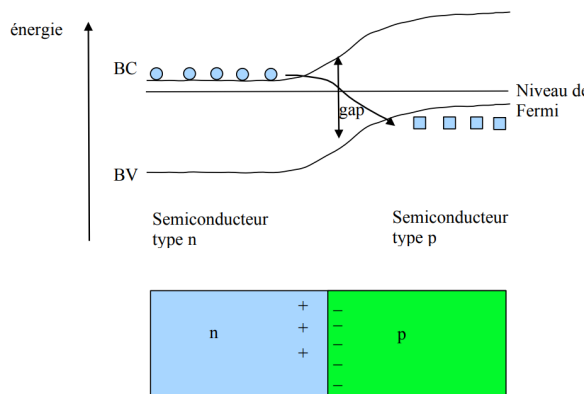


FIGURE 2 – Schéma de bandes d'une hétérojonction (jonction p-n).

A partir de la mesure du spectre d'émission des diodes, déterminer la valeur du gap au niveau de cette jonction (eV). Préciser sa largeur spectrale. Pour la mesure vous approcherez directement la LED de la tête de la fibre optique II-4 Vous disposez dans une petite boîte de différentes lames minces constituées d'absorbeurs (différentes couleurs).

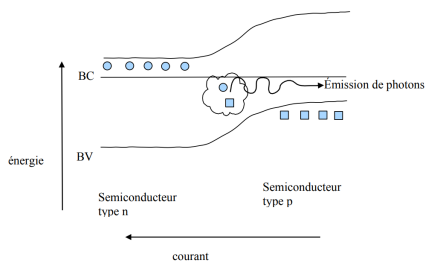


FIGURE 3 – Principe de la diode électroluminescente.

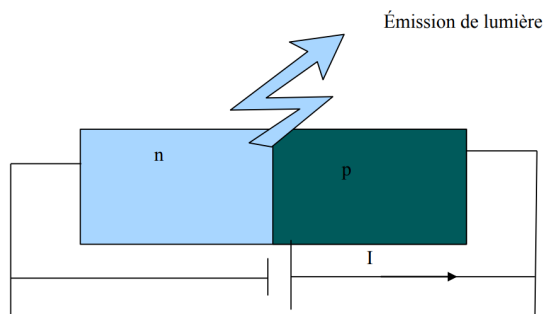


FIGURE 4 – Principe de la diode électroluminescente.

Pour déterminer la valeur du gap énergétique (également connu sous le nom de "band gap") d'une diode à partir de son spectre d'émission, nous pouvons utiliser la formule de la relation entre l'énergie et la longueur d'onde d'un photon : $E = hc/\lambda$ où E est l'énergie en électrons-volts (eV), h est la constante de Planck ($6.626 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$), c est la vitesse de la lumière dans le vide ($3 \times 10^8 \text{ m/s}$), la longueur d'onde en mètres.

La valeur du gap énergétique correspond à l'énergie des photons émis, qui est généralement proche du pic d'intensité maximale dans le spectre d'émission. Nous pouvons donc trouver la longueur d'onde correspondant à ce pic d'intensité et utiliser la formule ci-dessus pour calculer l'énergie.

Le spectromètre à barrettes semiconductrices est un instrument pour mesurer le spectre d'une source lumineuse, décomposant la lumière en ses composantes spectrales à l'aide d'un réseau de diffraction ou d'un prisme. Une fois dispersée, cette lumière est détectée par des capteurs CCD ou CMOS composés de barrettes semiconductrices, chaque élément étant sensible à une plage spécifique de longueurs d'onde. La lumière incidente est convertie en signal électrique, dont l'intensité à chaque longueur d'onde est proportionnelle à la quantité de lumière absorbée. Les données électriques sont ensuite traitées par ordinateur pour construire un spectre, représentant l'intensité lumineuse en fonction de la longueur d'onde. Ce processus est crucial en science des matériaux, physique et chimie, car il permet d'analyser la composition chimique des substances et d'étudier les interactions de la lumière avec les structures cristallines, offrant ainsi une méthode précise pour explorer les propriétés optiques des solides.

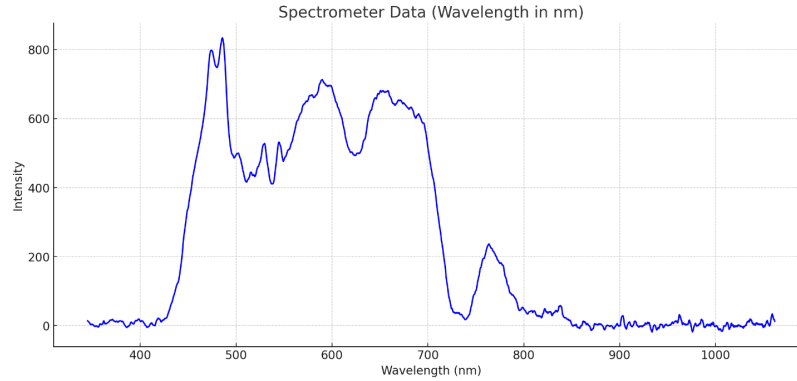


FIGURE 5 – Spectrographie

La largeur spectrale, quant à elle, peut être approximée par la largeur à mi-hauteur (FWHM - Full Width at Half Maximum) du pic d'émission. Elle donne une indication de la pureté chromatique de la source lumineuse.

La valeur du gap énergétique (band gap) de la jonction de la diode est d'environ 2.56 eV, ce qui correspond à l'énergie des photons émis au pic du spectre d'émission.

La largeur spectrale, mesurée comme la largeur à mi-hauteur (FWHM - Full Width at Half Maximum) du pic d'émission, est d'environ 251.6 nm. Cette valeur indique la gamme de longueurs d'onde sur lesquelles le spectre d'émission est réparti autour du pic.

4 Conclusion

L'expérience menée dans ce TP a permis de mettre en évidence l'importance de la spectroscopie dans l'étude des propriétés des semi-conducteurs. En analysant le spectre d'émission des diodes électroluminescentes, nous avons pu déterminer la valeur du gap énergétique ainsi que la largeur spectrale de ces dispositifs. Ces résultats soulignent les caractéristiques matérielles sur les propriétés optiques des semi-conducteurs et ouvrent la voie à une compréhension plus approfondie des processus physiques sous-jacents. La spectroscopie, en tant qu'outil d'analyse, se révèle donc important pour le développement et l'optimisation de nouvelles technologies basées sur les semi-conducteurs, en permettant une caractérisation de leurs propriétés.

5 Programmes Python

```
1 import matplotlib.pyplot as plt
2 import pandas as pd
3
4 file_path = '/mnt/data/lampe02.dat'
5 data = pd.read_csv(file_path, delimiter='\s+', skiprows=17, names=["Wavelength", "Intensity"])
6
7 data["Wavelength"] /= 10
8
9 plt.figure(figsize=(14, 6))
10 plt.plot(data["Wavelength"], data["Intensity"], color='blue')
11 plt.title("Spectrometer Data (Wavelength in nm)")
12 plt.xlabel("Wavelength (nm)")
13 plt.ylabel("Intensity")
14 plt.grid(True)
15 plt.show()
16
17
18 h = 6.62607015e-34 # Planck constant in J s
19 c = 3e8           # Speed of light in m/s
20
21 energy_J = h * c / peak_wavelength_m
22
23 energy_eV = energy_J / 1.602176634e-19
24
25 energy_eV, fwhm_nm
26
27 half_max_intensity = np.max(intensity) / 2
28 indices_at_half_max = np.where(intensity > half_max_intensity)[0]
29 fwhm_nm = wavelength_nm.iloc[indices_at_half_max[-1]] - wavelength_nm.iloc[indices_at_half_max[0]]
30 energy_eV, fwhm_nm
```