

ÉDITORIAL

Nous avons le plaisir de vous présenter la lettre des syzygies du solstice d'hiver dans laquelle vous trouverez deux articles : un premier traite du fonctionnement des diodes électroluminescentes et un second de la chaleur massique de l'eau comparée à celle de différents matériaux.

Les inventeurs de l'Optique Fluide

MESURES

La chaleur massique de l'eau

Dans la lettre des Syzygies de l'équinoxe de printemps 2001, nous vous exposons le filtrage des infrarouges par différents filtres et notamment l'eau.

Si l'eau est un excellent filtre infrarouge et absorbe bien la chaleur par rayonnement, elle absorbe aussi bien la chaleur par conduction et

(Suite page 6)

SOMMAIRE

Éditorial

Produits

Connaissez-vous le fonctionnement des LEDs ?

Mesures

La chaleur massique de l'eau

Infos

PRODUITS

Connaissez-vous le fonctionnement des LEDs ?

De nouvelles diodes électroluminescentes puissantes sont apparues sur le marché, nous connaissons les LEDs car elles ont envahi nos appareils électroniques (télévisions, magnétoscopes, chaînes haute-fidélité, etc..). Connaissez-vous le fonctionnement des LEDs ? De quoi sont-elles constituées ? C'est autant de questions qui nous ont été posées par un de nos abonnés sur Internet. Nous tentons ici de comprendre leur fonctionnement sans trop entrer dans les détails fins de la physique du solide.

Structure cristalline et liaisons chimiques

Le silicium est le roi de l'électronique à semiconducteur. Plus de 95 % des composants électroniques sont faits de silicium. D'une certaine façon, nous pouvons dire que des semiconducteurs composés, comme GaAs ou InP, ont été développés pour imiter et améliorer le succès du silicium, au moins dans quelques niches de technologie électronique.

(Suite page 2)

Dans un cristal, les atomes sont assemblés selon une structure périodique.

Dans un cristal de silicium, chaque atome, qui dispose de quatre électrons de valence sur sa couche électronique périphérique (voir figure 3), forme une liaison tétraédrique avec les quatre voisins les plus proches (voir figure 1). Chaque liaison covalente entre deux atomes de silicium partage deux électrons. Dans la configuration de liaison tétraédrique d'un cristal de silicium, chaque atome partage huit électrons de valence avec ses quatre voisins les plus proches. Une telle configuration électronique à huit électrons périphériques se rapproche de la configuration électronique stable d'un gaz rare, ici l'argon (Ar). Ce sont ces liaisons covalentes qui sont responsables de la création du cristal de silicium. La structure du cristal de silicium, construite à partir d'un réseau cubique à faces centrées, est de type diamant *{Miserey 1993}*.

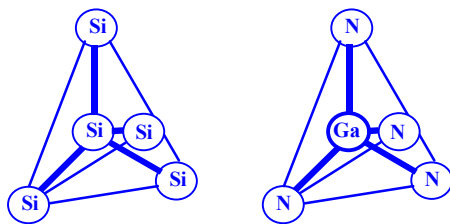


Figure 1 - Liaison tétraédrique de Si et de GaN

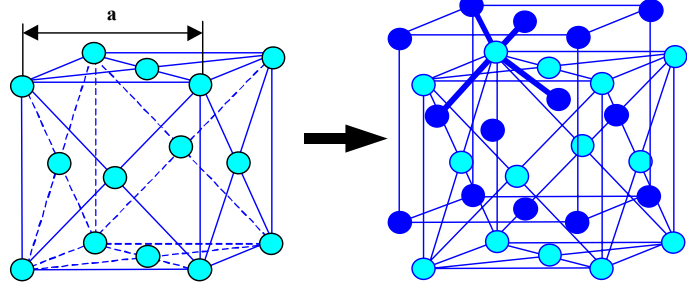


Figure 2 - Structure cubique à face centrée (à gauche). "a" est le paramètre cristallin. Structure diamant (à droite) construite à partir d'un réseau cubique à faces centrées. Les traits bleu épais représentent une liaison tétraédrique au sein de la structure diamant.

Les éléments couramment utilisés pour créer des semiconducteurs composés se trouvent dans les colonnes III (B, Al, Ga, In, Tl) et V (N, P, As, Sb, Bi) du tableau de classification périodique des éléments. Les chiffres romains dénotent le nombre d'électrons de valence pour les éléments de ces colonnes. Comme pour le silicium, il faut 8 électrons de valence pour compléter les liaisons covalentes entre les atomes pour former un cristal stable. Si nous prenons par exemple les atomes de gallium (Ga) (colonne III) et les atomes d'azote (N) (colonne V) possèdent 3 électrons et 5 électrons de valence respectivement sur leur couche périphérique (figure 3).

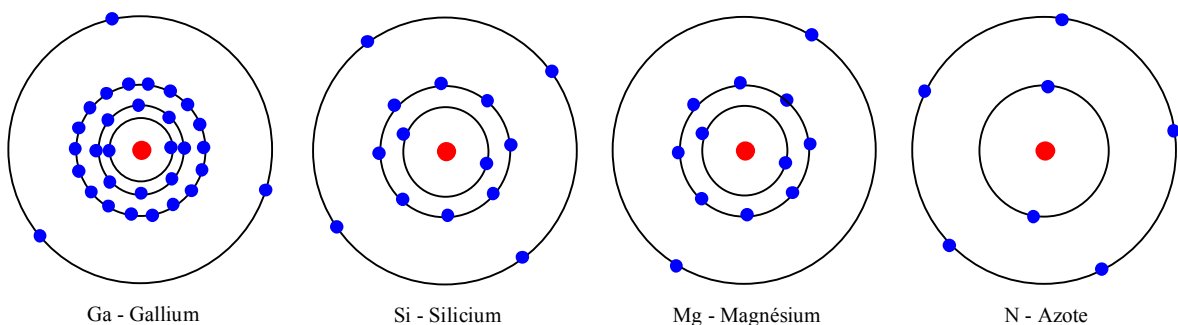


Figure 3 - Représentation de quelques atomes intéressants et de leurs nuages électroniques

En mettant en commun ces électrons, nous obtenons 8 électrons qui permettent de remplir la couche périphérique de ces atomes. Cette configuration permet de se rapprocher d'une structure électronique stable et de créer un réseau cristallin.

(Suite de la page 2)

Dans le cas des atomes de gallium et d'azote, le réseau cristallin est de type *wurtzite* (voir figure 6) et on y retrouve comme pour le cristal de silicium des liaisons tétraédriques (voir figure 1).

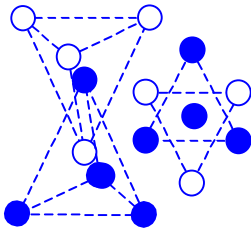


Figure 4 - Structure de cristal de type diamant
Vue en perspective et vue de dessus

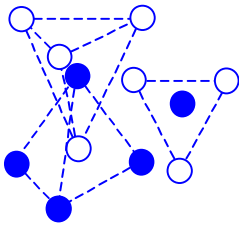


Figure 5 - Structure de cristal de type *wurtzite*
Vue en perspective et vue de dessus

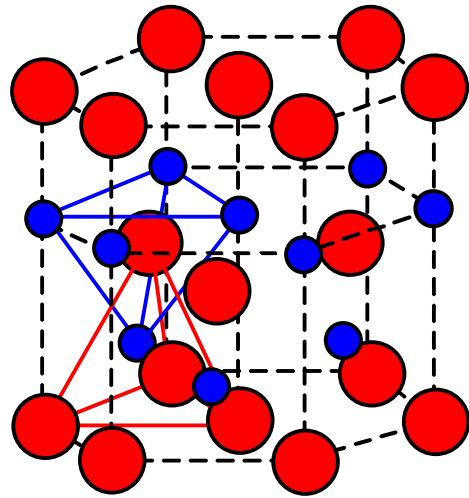


Figure 6 - Structure cristalline GaN de type *wurtzite*.
En rouge, atomes de gallium.
En bleu, atomes d'azote.

Pour rendre GaN conducteur d'électrons (type n), nous pouvons le doper avec du silicium. Pour cela, on remplace un petit pourcentage d'atomes de gallium par des atomes de silicium. Comme le silicium a quatre électrons de valence au lieu de trois pour le gallium (voir figure 3), en remplissant les couches périphériques des atomes, il reste un électron pour chaque atome de silicium introduit. Cet électron est libre de circuler comme dans un conducteur. *{SU 2000}*

Pour rendre GaN conducteur de trous (type p), nous pouvons le doper avec du magnésium. Pour cela, on remplace un petit pourcentage d'atomes de gallium par des atomes de magnésium. Comme le magnésium a deux électrons de valence au lieu de trois pour le gallium (voir figure 3), en remplissant les couches périphériques des atomes, il nous manque un électron pour chaque atome de magnésium introduit. Un électron d'une liaison voisine peut venir compléter ce trou qui va se déplacer.

Sous une polarisation directe, les trous et les électrons peuvent se recombiner dans la région active pour créer de la lumière (voir figure 7).

En ajoutant Al et In à GaN, nous pouvons créer un semiconducteur à composé quaternaire AlInGaN. En ajustant le gap, nous pouvons choisir la longueur d'onde. En adaptant le paramètre cristallin avec celui du substrat, nous obtenons une meilleure efficacité lumineuse. *{SU 2000}*

Principe Physique de la LED

Dans les leds, les trous et les électrons se recombinent dans la couche active d'une double hétérojonction ou d'un puits quantique quand ils passent à travers une jonction «pn» d'un semiconducteur dopé soumise à une polarisation directe. La couche active à petit gap est placée entre deux couches de confinement à grand gap *{Hincelin 1993}*. Cette même structure peut être utilisée pour les diodes laser, puisqu'une LED est seulement une diode laser sans

(Suite page 4)

cavité.

La plupart des leds de faible puissance, que l'on trouve usuellement, sont composées d'un cristal GaAsP construit sur un substrat GaAs. Ces cristaux ont un paramètre cristallin mal adapté à leur substrat, ce qui rend ces types de leds peu lumineuses. Le rendement dépend donc de l'adaptation du paramètre cristallin du cristal avec celui de son substrat. Plus ces paramètres seront proches, et plus le rendement en sera amélioré. *{SU 2000}*

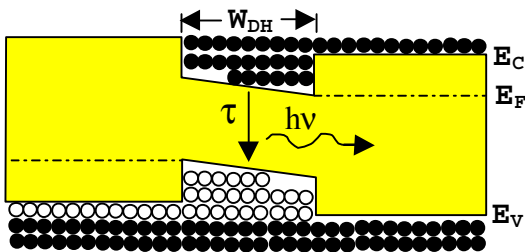


Figure 7 - Hétérojonction sous une polarisation directe *{Hincelin 1993}*. Aujourd'hui, la plupart des LEDS à grand rendement sont conçus sur une double hétérostructure où les charges sont confinées dans la région active (W_{DH}).
 E_C = énergie de la bande de conduction
 E_V = énergie de la bande de valence
 E_F = Energie de Fermi (niveau d'énergie à laquelle la probabilité qu'un état quantique soit occupé par un électron est 1/2).
 τ est la durée de vie de recombinaison spontanée.
gap : $E_G = E_C - E_V$

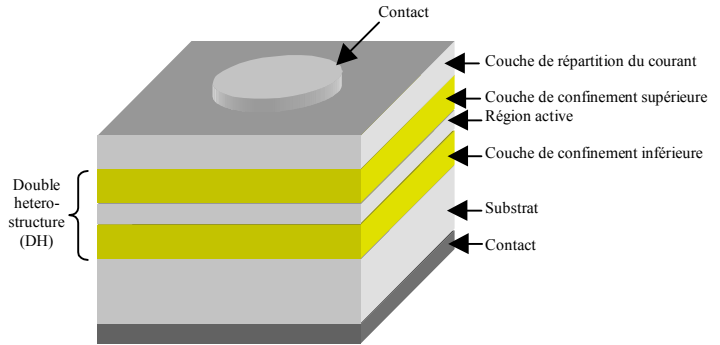


Figure 8 - Exemple de structure d'une LED à double hétérostructure où la région active peut-être AlGaInP avec deux couches de confinement AlInP et une couche de répartition du courant AlGaAs. Le substrat est GaAs.

La percée des LEDs s'est fait grâce à l'introduction des semiconducteurs de composés quaternaires AlGaInP pour le rouge et le jaune, et les matériaux GaN pour le bleu et le vert. AlGaInP, utilisé comme région active d'une double hétérostructure ou d'une structure à puits quantique, déposé sur un substrat GaAs, est très lumineux. La plage des gaps, de 1.9 à 2.2 eV, correspond à la plage d'émission de longueur d'onde de 650 à 570 nm et peut varier en fonction du mélange des atomes Al et Ga dans la structure AlGaInP. Pour le matériau GaN, on peut mélanger GaN, qui émet dans l'ultraviolet, avec InN, qui émet dans le rouge, pour former InGaN, qui émet n'importe quelle couleur depuis l'ultraviolet jusqu'au rouge. Cette variation de couleur dépend du taux d'atomes Ga par rapport aux atomes In dans la structure InGaN. *{SU 2000}*

Caractéristiques des LEDS commercialisées

Ces LEDs très lumineuses promettent d'être une nouvelle source de lumière blanche. Les LEDs traditionnelles ont de très faibles puissances, quelques milliwatts, mais aujourd'hui les LEDs basées sur AlInGaP ont enregistré des records en laboratoire de 100 lumens dans la couleur ambre. Les LEDs les plus puissantes commercialisées que nous avons trouvées viennent de chez Luxeon *{Luxeon Emitter 2001}* (voir tableau ci-après).

| Couleur | Longueur d'onde ou Température de couleur | Flux lumineux (lm) valeur typique (minimum) | Angle(*) d'émission(°) | Structure interne | Géométrie de la lentille |
|--------------|---|---|------------------------|-------------------|----------------------------|
| Blanc | 5500 K | 18 (13.9) | 110 | InGaN | Petit dôme |
| Vert | 530 nm | 25 (13.9) | 110 | InGaN | |
| Cyan | 505 nm | 30 (13.9) | 110 | InGaN | |
| Bleu | 470 nm | 5 (3.8) | 110 | InGaN | |
| Bleu "royal" | 455 nm | 4 (1.7) | 110 | InGaN | |
| Rouge | 625 nm | 25 (13.9) | 110 | AlInGaP | |
| Ambre | 590 nm | 20 (10.7) | 110 | AlInGaP | |
| Rouge | 627 nm | 44 (30.6) | 160 | AlInGaP | Grand dôme (hémisphérique) |
| Rouge-Orange | 617 nm | 55 (39.8) | 160 | AlInGaP | |
| Ambre | 590 nm | 36 (23.5) | 160 | AlInGaP | |

Tableau des LEDs nues commercialisés disponibles auprès de la société LUXEON

Nous constatons que les LEDs les plus puissantes sont les LEDs basées sur AlInGaP mais surtout celles qui utilisent, en plus, une lentille de sortie de forme hémisphérique. Ces deux types de LEDs utilisent des géométries de puce différentes. La LED à petit dôme est basée sur une puce de forme parallélépipédique rectangle avec un substrat transparent alors que la LED à grand dôme utilise une géométrie de puce dont la forme est une pyramide tronquée inversée. Cette différence de forme de puce permet de récupérer 1,5 fois plus de lumière. *{Craford 2001}*

Conclusion

Nous avons vu, dans les grandes lignes, comment la lumière était générée au sein d'une LED, comment l'optimisation de cette structure interne de la puce avait permis l'augmentation du rendement lumineux (adaptation du paramètre cristallin, changement de type de matériaux). Nous sommes peu rentrés dans les détails de la forme géométrique de la puce. Ce sujet pourra être traité dans une prochaine lettre des Syzygies.

- Craford 2001** M. George Craford - Recent progress of LEDs for lighting - Lumileds - Présentation au salon Opto 2001 - Document électronique disponible sur <http://www.lumileds.com> - (Oct. 2001)
- Hincelin 1993** G. Hincelin - Optoélectronique - Polycopié Cours B1 - CNAM/MEDIA - p52 à p64 & p166 à 169 - (1993 -1994)
- Luxeon Emitter 2001** Luxeon - Technical Data Luxeon Emitter - Document électronique disponible sur <http://www.luxeon.com> - p3 - (Dec. 2001)
- Miserey 1993** F. Miserey - Physique du solide - Polycopié Cours B1 - CNAM/MEDIA - p5 à 9 & p16 à p19 & p92 et p93 & p105 à p107 - (1993-1994)
- SU 2000** Frederick Su - Revolutionizing light : LEDs, ELDs and OLEDs - SPIE (Dec. 2000)

(Suite de la page 1)

convection.

Les capacités de refroidissement des fluides basés sur l'eau sont reconnues depuis fort longtemps puisqu'on en trouve aujourd'hui dans les radiateurs de toutes nos voitures pour refroidir les moteurs.

Les propriétés thermiques de l'eau et sa grande transparence au rayonnement visible en font un excellent milieu pour l'optique. Il semble même possible, en adaptant la composition du fluide à base d'eau, d'augmenter ses capacités de filtrage du rayonnement pour l'adapter d'avantage à la courbe de réponse de l'oeil.

Si on utilise ce fluide comme milieu optique, comme c'est le cas dans les optiques fluides dynamiques, pour filtrer le rayonnement, il peut aussi servir, par une circulation adéquate, à refroidir l'ensemble du système optique confiné bien souvent dans un espace restreint et peu ou pas aéré.

Il n'en va pas de même pour les filtres solides qui filtrent le rayonnement par absorption car ils sont composés en grande partie de verre.

En effet, si on s'intéresse à la capacité de la matière à absorber la chaleur par unité de masse, appelé chaleur massique, on s'aperçoit dans le tableau ci-dessous que le verre a une faible chaleur massique.

| Corps | C (J.kg ⁻¹ .K ⁻¹) | Corps | C (J.kg ⁻¹ .K ⁻¹) |
|------------|--|------------------|--|
| eau | 4,2.10 ³ | Aluminium | 0,9.10 ³ |
| glace | 2,1.10 ³ | Acier inoxydable | 0,5.10 ³ |
| eau vapeur | 1,9.10 ³ | Fer | 0,7.10 ³ |
| Air | 1.10 ³ | Verre | 0,8.10 ³ |

Cette chaleur massique est même inférieure à celle de l'air. Par contre l'eau présente la meilleure chaleur massique du tableau et est plus de cinq fois plus importante que celle du verre.

INFOS

S'il y a un sujet que vous souhaitez voir traiter dans cette lettre, vous pouvez directement nous joindre par Email à l'adresse :

syzygies@optique-fluide.org

Vous pouvez également joindre MEGALUX, la société chargée d'exploiter l'Optique Fluide à l'adresse :

info@megalux.com

PROCHAINE LETTRE

La prochaine Lettre des Syzygies paraîtra durant l'équinoxe de printemps, soit à partir de la fin mars.