

LES LEDS BLANCHES

TECHNOLOGIE A PHOSPHORE

PAR LAURENT MASSOL

INTRODUCTION

Au cours des années 80, la technologie d'éclairage à phosphore connaissait son apogée, tubes, écran de télévision, utilisaient le procédé d'une excitation du phosphore par une radiation UV-bleue.

Dans le même temps, les LEDs (rouge et jaune principalement) ont connu des évolutions, et même si le phénomène d'émission lumineuse à partir d'un semi-conducteur remontait au début du siècle, la maturité de la technologie ne permettait toujours pas de produire de LED bleue suffisamment performante pour être commercialisée.

C'est ce qui explique le tout récent développement des LEDs blanche (début des années 90).

Nichia, une entreprise Japonaise de taille moyenne (200-300 personnes en 1975), fournissait à ses clients (fabricants de tube pour l'éclairage, de télévision) ce précieux phosphore. En 1979, un certain Shuji NAKAMURA fut recruté au sein de Nichia afin de développer de nouveaux produits et de prendre en charge le département R&D. Shuji provenait du monde de l'électronique et du semi-conducteur, et se mit en quête de développer un semi conducteur ayant une émission bleue. De 1982 à 1989 il travailla sur différents types de wafer afin de développer une LED bleue suffisamment performante. Au cours de l'année 1989, il y avait 2 méthodes de fabrication des LEDs bleues, utilisant 2 types de matériaux : ZnSe et GaN.

La plus part des laboratoires travaillant dans ce domaine, pour ne pas dire tous, avaient choisi le ZnSe qui présentait à priori les meilleurs caractéristiques pour une émission bleue. NAKAMURA, préféra se concentrer sur la méthode utilisant le GaN pour une raison évidente : même s'il avait réussi à développer une LED bleue efficace en ZnSe, il se serait très vite heurté à une concurrence des plus rudes.

En 1991, après avoir modifié un réacteur de déposition chimique (MOCVD) acheté dans le commerce, en lui ajoutant un second courant de gaz inerte (perpendiculaire au courant de déposition), annihilant les effets néfastes de convection dans le réacteur, il obtint une qualité de cristal GaN inégalée jusque là.

Durant cette année, il pu alors développer une jonction de type N puis l'année suivante une jonction de type P, et c'est en 1993 qu'il fabriqua la première LED bleue suffisamment performante pour être commercialisée, suivie de la première LED blanche.

Ce fut le point de départ de la technologie LED bleue + phosphore.

PROBLÉMATIQUE

Au cours des 15 dernières années, le process de fabrication des LEDs blanches a constamment évolué, tant sur le plan de la qualité du matériau lui-même que sur sa mise en œuvre.

Nous allons discuter dans les paragraphes suivants de ces évolutions, en commençant par faire un rapide résumé du mode de fonctionnement d'une LED blanche utilisant la technologie à phosphore.

LA TECHNOLOGIE

Le principe est simple : il s'agit d'exciter un phosphore à l'aide d'une radiation bleue, qui va ensuite produire une émission jaune. Une seule partie de l'émission bleue est absorbée par le phosphore de telle sorte que se superposent les 2 émissions en sortie de la LED, donnant l'impression d'une lumière blanche.

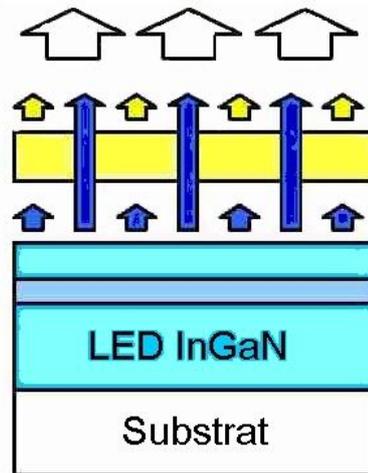
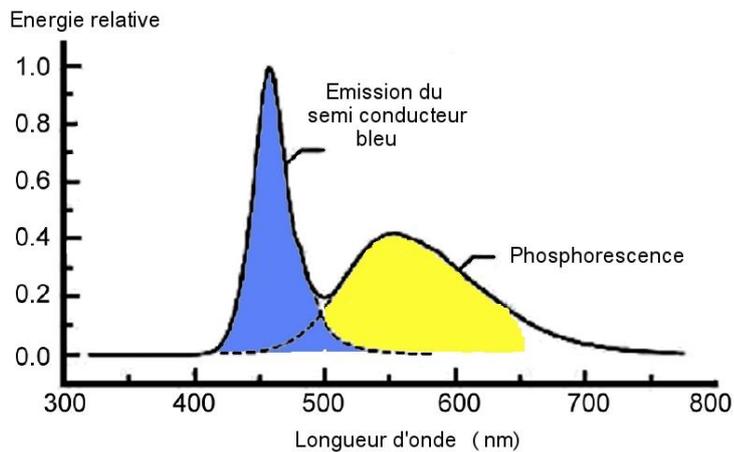


Figure 1

LA MISE EN ŒUVRE DU PHOSPHORE

L'idée était de recouvrir la LED bleue d'une couche de phosphore. Au départ, cette couche fut mise de façon non uniforme (Cf. Fig. 2.a et 2.b) ce qui donna pendant longtemps cette non uniformité en colorimétrie des LEDs blanches, suivant l'axe sous lequel nous les observions. Aujourd'hui encore, des LEDs blanches de mauvaise qualité présentent cette caractéristique, et notamment lorsque l'on regarde la LED sur le côté.

Pour être complètement honnête, même les LEDs d'excellente qualité ne possèdent pas une uniformité parfaite en ce qui concerne la colorimétrie et cela provient du fait de la géométrie du semi-conducteur. Pour améliorer encore cette uniformité, il faudrait pour cela avoir un semi-conducteur semi sphérique, recouvert d'une couche de phosphore d'épaisseur uniforme à sa surface.

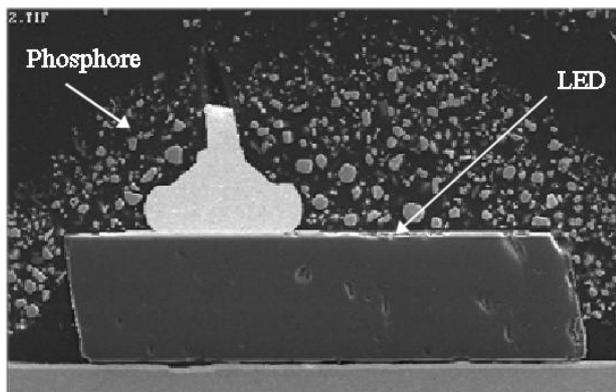


Figure 2.a

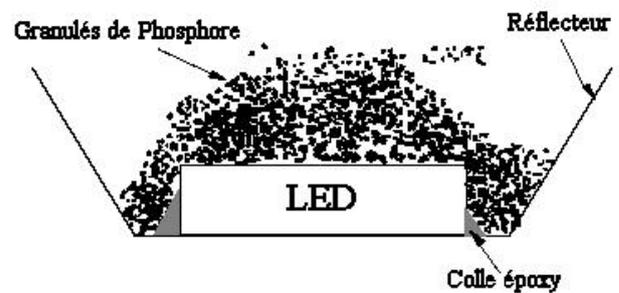


Figure 2.b

Récemment, l'ajout de phosphore a donc été amélioré en uniformisant la couche de phosphore autour du semi-conducteur (Cf. Fig. 3.a et 3.b) et la preuve de cette amélioration a pu être faite par la mesure de la température de couleur sous différents angles (Cf. Fig. 4).

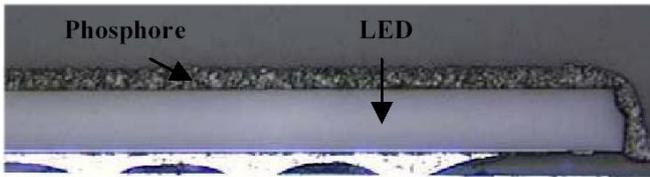


Figure 2.a

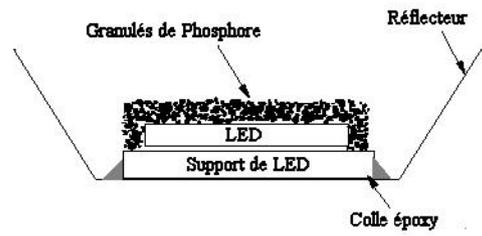


Figure 2.b

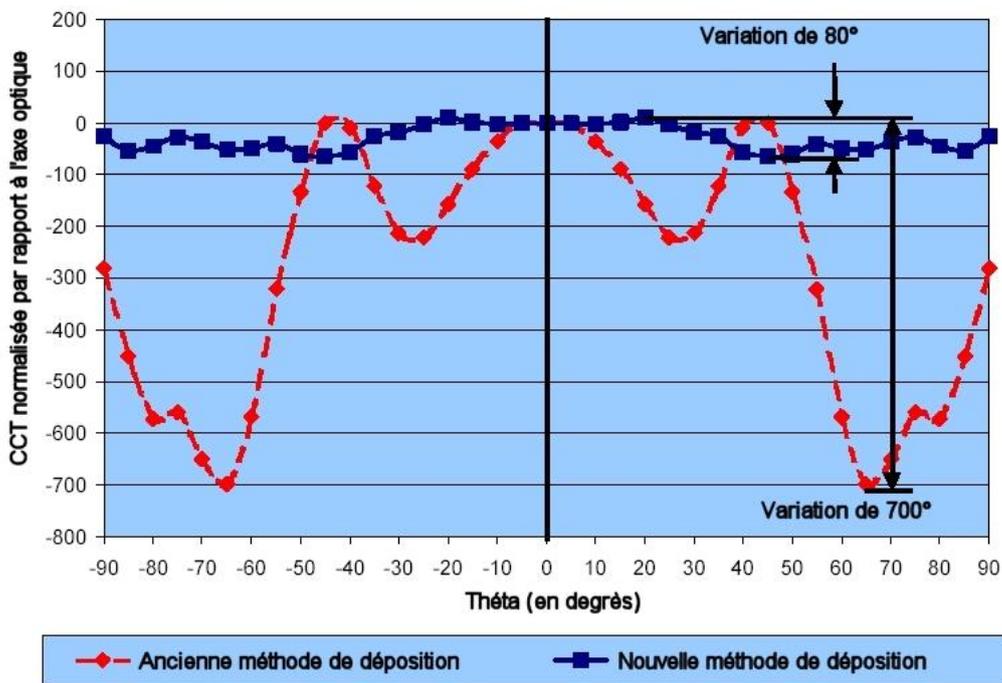


Figure 4 (Lumileds)

De récentes améliorations ont encore été apportées, toujours dans la mise en œuvre du phosphore. Il s'agit en fait de déporter la couche de phosphore et de créer un réflecteur juste en dessous qui joue un rôle de « mélangeur ». En effet, toutes les réflexions se feront de façon diffuse de telle manière que la traversée des radiations bleues au travers cette couche de phosphore se fait plus uniformément et de façon non directive (Cf. Fig. 5)

Non seulement la lumière réfléchiée vers le semi conducteur n'est pas perdue, mais elle est ré émise de façon diffuse grâce aux propriétés de réflexion du réflecteur, ce qui uniformise un peu plus la qualité de la lumière émise en sortie de la LED.

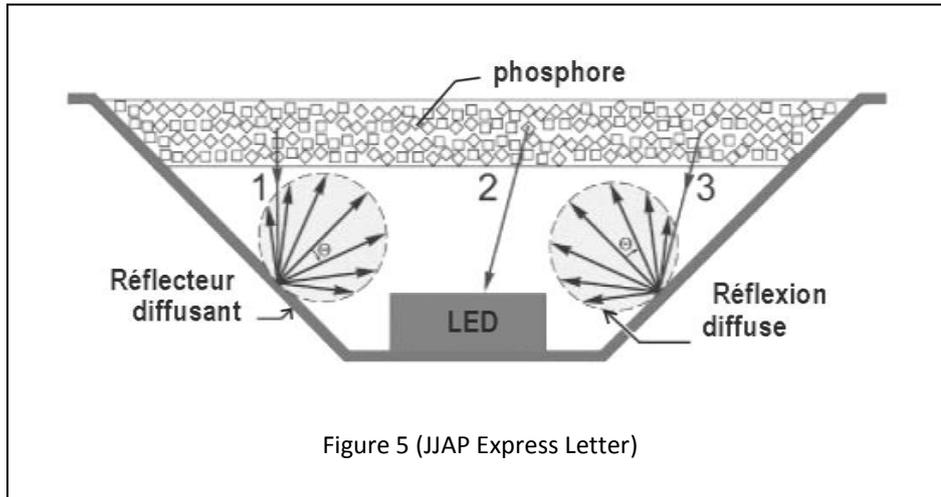


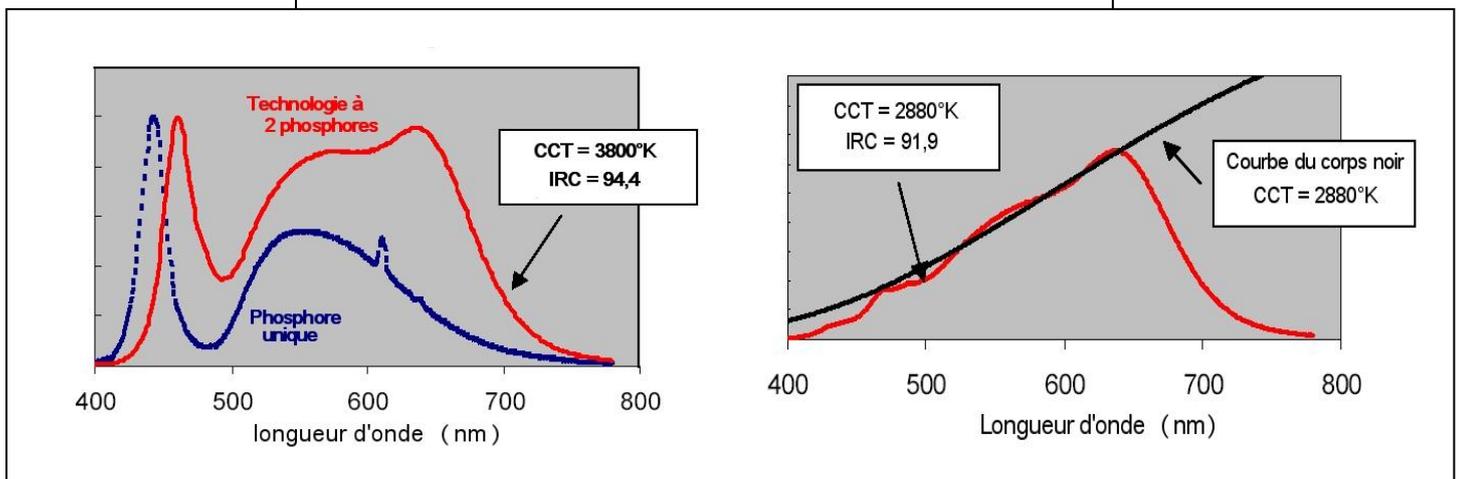
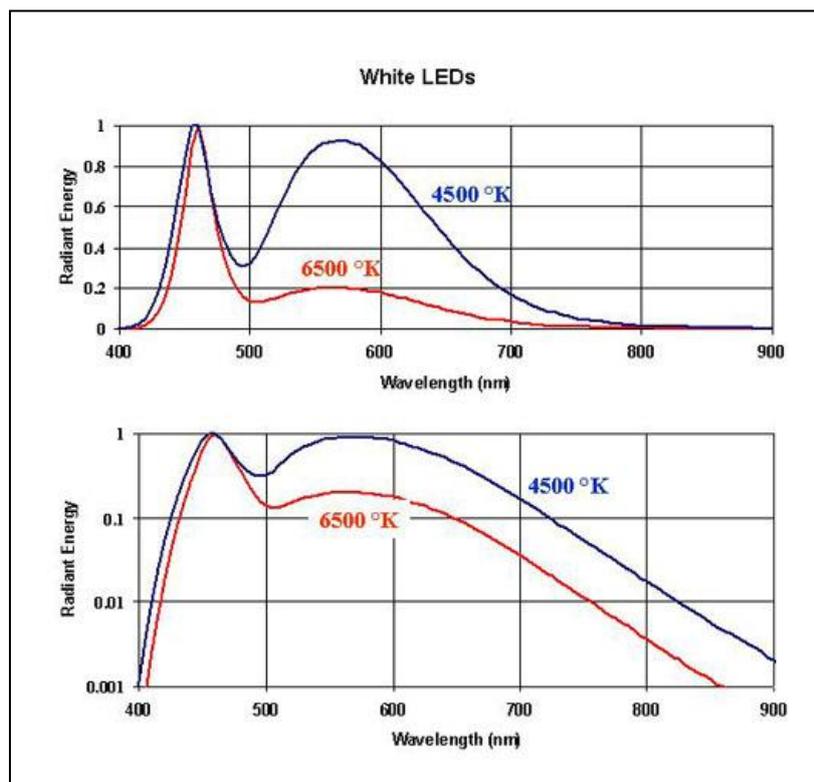
Figure 5 (JJAP Express Letter)

De plus, le fait d'avoir un réflecteur diffusant couplé à l'arrangement du phosphore au dessus améliore d'environ 75% l'extraction lumineuse, par rapport à un réflecteur standard rempli de phosphore.

TYPES DE PHOSPHORE ET ALTERNATIVES

La plus part des LEDs blanches utilisent un phosphore unique (YAG :Ce). Le spectre de la lumière émise a une forme très caractéristique, composée d'une émission bleue et d'une émission jaune (Cf. Fig. 1).

Ces dernières années, les fabricants de LEDs ont ajouté d'autres phosphores au premier phosphore utilisé, afin d'atteindre de meilleur rendu colorimétrique, ainsi que des blancs plus chauds. Osram (Cf. Fig. 6) et Lumileds (Cf. Fig. 7) ont été parmi les premiers à utiliser cette méthode et donc à proposer des LEDs s'approchant plus de la lumière blanche émise par une lampe à incandescence (blanc chaud) que des lumières blanches « bleutée » des premières LEDs blanches.



DIFFERENTS TYPES DE PHOSPHORE

Les phosphores jaunes sont les plus répandus et les plus utilisés pour la fabrication de LEDs blanches. Leur principal avantage est un coût réduit par rapport aux autres technologies à phosphore, mais l'indice de rendu des couleurs n'est pas très bon (en général pas beaucoup plus que 75).

D'autres techniques, utilisées et développée notamment par TOYODA GOSÉI (TG), préfère une LED violette émettant dans un phosphore RGB. Le résultat en terme de rendu des couleurs est très intéressant (IRC = 90). Cette nouvelle génération de LEDs est appelée par TG « True white Hi » LED. Seul problème de l'utilisation de LEDs violette, c'est l'émission d'UV qui dégrade les caractéristiques optiques des phosphores eux-mêmes et des encapsulants.

LES NANO PARTICULES

Une alternative à la conversion lumineuse utilisant des phosphores consiste en l'utilisation de nano particules ("quantum dots"). Cette méthode est innovante dans le fait qu'il est possible de fixer (dans une certaine mesure) le spectre d'émission, ce qui est par nature impossible avec la technologie à phosphore, émettant un spectre caractéristique du matériau lui-même, sans pouvoir être modifié de quelques manières que se soit.

Au départ, l'efficacité de cette solution était inférieure à celle des phosphores, mais les récentes améliorations du principe ont permis d'atteindre aujourd'hui un niveau égal, même si ce n'est pas encore une solution complètement industrialisable.

LEDS BLANCHES SANS PHOSPHORE

Une nouvelle piste de recherche dans la production de LEDs blanches a été découverte. Il s'agit d'une émission blanche due aux interactions internes entre les différentes couches de semi conducteurs (GaN et ZnO), méthode similaire à la méthode PRS. Ces interactions Les premiers prototypes sont actuellement en test et cette nouvelle méthode sera certainement à prendre en compte dans les années à venir, même si les autres technologies « conventionnelles » ont pris déjà beaucoup d'avance.

PUBLICATIONS ET OUVRAGES DE RÉFÉRENCE

- ◆ Web
- ◆ Brilliant by Bob Johnstone
- ◆ JJAP Express Letter : « Strongly Enhanced Phosphor Efficiency in GaInN White LED (avril 2005)

L'AUTEUR

Laurent MASSOL est ingénieur chez LED Engineering Development (www.led-development.fr)