

Diode Electroluminescente Blanche Monolithique à base d'un Empilement de Boîtes et Puits Quantiques Nitrures

Les Partenaires



R&D nouveaux matériaux & structures
Développement structure DEL blanche innovante

RIBER
Concepteur & fabricant EJM
Ingénierie réacteurs

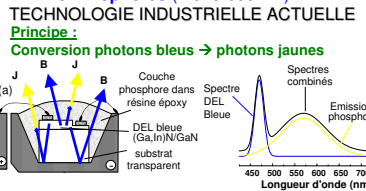
LUMILOG
Fabricant substrats GaN
Développement substrats pour DELs de puissance

Contexte de l'étude

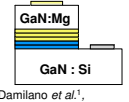
(Projet RMNT « NANILUB » 2003)

DEL BLANCHE HYBRIDE
→ DEL Bleue (460-470 nm)
+ Luminophores (~ 570-600 nm)

DEL BLANCHE MONOLITHIQUE
(Brevet CRHEA Septembre 2002)



Principe :
utiliser comme zone active un empilement de puits quantiques InGaN/GaN émettant à différentes longueurs d'onde



B. Damilano et al., repris par Nichia R&D
DEL blanche @ 20 mA
B. Damilano et al., Jpn. J. Appl. Phys., 40, L518, (2001);
A. Dussaigne et al., PSC'04, No. 1, 57 (2007);
M. Yamada et al., Jpn. J. Appl. Phys., 41, L246, (2002)

Points Forts :
• Puissance
• Rendement lumineux
• Procédé de fabrication
• Maturité technologique

Limitations :
• Coordonnées chromatiques
• Indice de Rendu des Couleurs
• Etape supplémentaire
• Phosphore limite la fiabilité de la DEL blanche

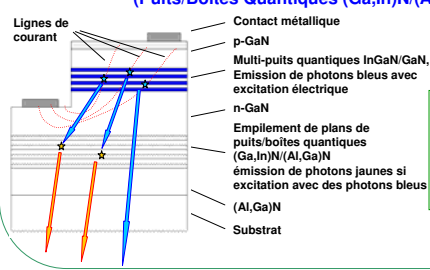
Points Forts :
• Simplification du procédé de fabrication
• Diminution du coût
• Fiabilité
• Rupture technologique

Limitations :
• Puissance
• Forte variation de la couleur en fonction de l'injection
• Coordonnées chromatiques

Concept DEMONI

→ Nouveau concept de DEL blanche monolithique
(Brevet CNRS/CRHEA Mars 2006)

DEL BLEUE + CONVERTISSEUR PASSIF
(Puits/Boîtes Quantiques (Ga,In)N/(Al,Ga)N)

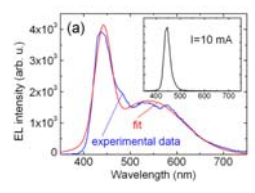
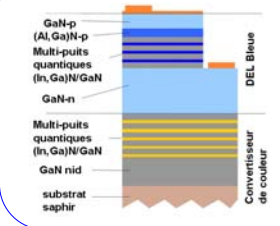


Concept DEMONI :
• Efficacité lumineuse aux grandes longueurs d'onde
• Indice de Rendu des Couleurs
• Stabilité de la couleur en fonction du courant

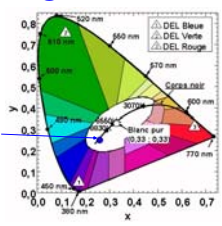
Objectifs

1. Validation du concept DEMONI
2. Réacteur de croissance EJM pour l'optoélectronique (RIBER) :
Puissance* DEL bleue sur substrat Saphir : 1 mW @ 20 mA - sur substrats Si : 0,3 mW @ 20 mA
3. Réalisation de substrats GaN "epi-ready" pour DELs forte puissance (LUMILOG) :
Puissance* DEL bleue : 5 mW @ 100 mA
*Mesures sur plaque
4. Démonstrateur DEL Blanche (CRHEA) :
LED bleue + Convertisseur de couleur efficace dans le jaune

1. Validation du concept DEMONI



- 2 composantes dans le spectre d'émission :
- 440 nm (DEL bleue)
- 540 nm (convertisseur)
- Indice de Rendu des Couleurs = 89
- Coordonnées chromatiques (x = 0,260; y = 0,251)
Appl. Phys. Lett. 93, 101117 (2008)



- Figures de mérite visées :
- coordonnées chromatiques : (x = 0,33; y = 0,33)
 - Indice de Rendu des Couleurs ≥ 80
 - Rendement de conversion = 80%
 - Rendement lumineux = 5 lm/W

2. Réacteur EJM pour l'optoélectronique GaN RIBER

Optimisation du dopage p J. Appl. Phys. 103, 013110 (2008)
Effet HALL (300K) : dopage p ~ 1 - 8.10¹⁹ cm⁻³
résistivité ρ ~ 0.4 - 1 Ω.cm
mobilité μ ~ 1 - 9 cm²/V.s

Meilleur résultat dans la littérature (NICHIA Corp., leader mondial) :
p = 3.10¹⁹ cm⁻³, ρ = 0.2 Ω.cm et μ = 9 cm²/V.s (croissance EPVOM)

Comparaison DELs EJM avec DELs EPVOM (Réacteur de production GaN Thomas Swann CRHEA)

Puissance optique sur substrats Saphir @ 20 mA :
P_{opt} ~ 0,4 - 0,6 mW (EJM)
P_{opt} ~ 0,8 - 1 mW (EPVOM)

Réalisation de DELs bleues sources
Substrat GaN/Saphir : Puiss. max. ~ 0,6 mW (@ 20mA)
λ ~ 435 nm

Substrat Si(111) : procédé GaN/Si breveté CRHEA/CNRS et transféré à la société PICOGIGA
Puiss. max. ~ 0,06 mW (@ 20mA)
λ ~ 418 nm

Substrat Si(110) : compatibilité possible avec technologie CMOS nouvelle génération

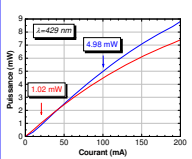
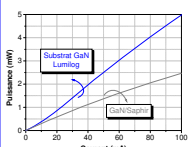
Première mondiale DEL Si(110) - Appl. Phys. Exp. 1, 121101 (2008)

- ✓ Figures de mérite du dopage p à l'état de l'art
- ✓ Puissance optique augmentée d'un facteur 4 (par rapport aux DELs EJM CRHEA réalisées avant DEMONI)
- ✗ Un facteur 2 (sur Saphir) et 5 (sur Si) en puissance reste à gagner

3. Développement de substrats GaN LUMILOG

Développement des substrats GaN pour la croissance EJM ("épi-ready")

Diodes bleues sources (comparaison avec substrats Saphir)



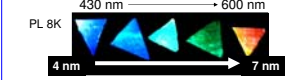
Meilleurs résultats :
Puiss. ~ 1,02 mW @ 20 mA
4,98 mW @ 100 mA

- ✓ Substrats GaN "épi-ready"
- ✓ DELs Bleues "forte puissance" (5 mW @ 100 mA)

4. Démonstrateur DEL Blanche CRHEA Convertisseur de couleur Prototype

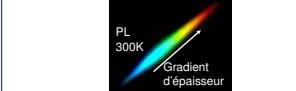
Convertisseur à Bâtonnets Quantiques GaN/(Al,Ga)N avec x_{Al} ≥ 0,4

Variation d'émission des bâtonnets en fonction de leur hauteur J. Appl. Phys. 105, 033519 (2009)



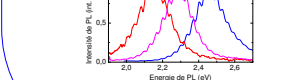
Réalisation DELs Blanches :
✗ Problème : faible absorption dans le bleu

Puits Quantiques (In,Ga)N/(Al,Ga)N à forte composition



Puits quantique (In,Ga)N/GaN présentant un gradient d'épaisseur

Puits Quantiques Asymétriques GaN/(In,Ga)N/(Al,Ga)N

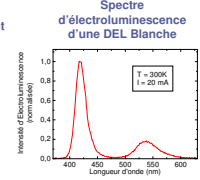


Augmentation du champ électrique interne :
Décalage de la longueur d'onde d'émission du vert au jaune (à composition en indium et épaisseur du puits quantique (In,Ga)N constantes)

Substrat Saphir
DELs Bleues : Puiss. ~ 0,5 mW @ 20 mA

Convertisseurs : 20 puits quantiques (In,Ga)N/GaN

Photographie d'une DEL Blanche en fonctionnement



Rendement de conversion du convertisseur ~ 30 - 50%
Rendement lumineux @ 20mA : 0,4 - 1 lm/W
Coordonnées chromatiques (x ~ 0,21; y ~ 0,22)

- ✓ Bonne stabilité de la couleur en fonction du courant d'injection
- ✗ Il manque encore un facteur 5 sur le rendement lumineux :
- Le rendement de conversion du convertisseur doit être augmenté d'un facteur 2 à 3 → puits à forte localisation (~ boîtes quantiques)
- La puissance de la DEL bleue de pompe utilisée est de 0,5 mW @ 20 mA