

ACHETER

COMPRENDRE, CHOISIR ET ACHETER DES LEDS UV

Walter FIEDLER¹, Christian MERRY², Peter E. GORDON²
¹ Laser Components, 45 bis route des gardes, 92190 Meudon, France

² Bolb Inc., 52 Wright Brothers Ave, Livermore CA 94551, USA


En 1992, le prix Nobel Japonais Isamu Akasaki a mis au point la première diode électroluminescente (DEL) pour le spectre ultraviolet. Depuis lors, cette technologie relativement jeune n'a cessé de conquérir de nouveaux domaines d'application. Il est difficile de suivre l'évolution actuelle du marché, en particulier dans les courtes longueurs d'onde UV entre 280 nm et 100 nm, tant le développement technique progresse rapidement. Nous proposons ici un aperçu et des aides à la décision pratiques dans la recherche d'une LED UV adaptée à l'application visée.

<https://doi.org/10.1051/photon/202110648>

RENDRE L'OPAQUE TRANSPARENT

Jusqu'à présent, la croissance du marché des LED UVC a été entravée par un problème technique majeur : le matériau semi-conducteur. Les LED de plus grande longueur d'onde – en particulier le vert, le bleu et les UVA – utilisent principalement des composés de GaN comme matériaux semi-conducteurs, car ils offrent la large bande interdite nécessaire à cette partie du spectre. Cette technologie est bien développée et utilisée pour un large éventail d'applications. L'AlGaIn, qui est nécessaire pour les longueurs d'onde UVC, ne présente qu'un rendement électrique-optique décrit souvent sous le terme Wall Plug Efficiency (WPE) de 3 à 5 %, ce qui

signifie que seule une petite partie de la puissance électrique appliquée est transformée en puissance optique. La plupart des LED développées jusqu'à présent n'ont pas le rendement nécessaire pour concurrencer sérieusement les technologies existantes telles que les lampes à mercure. Ce n'est que récemment que de nouvelles technologies ont permis de résoudre ce problème et d'augmenter considérablement le rendement.

PERCÉE TECHNOLOGIQUE GRÂCE AU GAZ À TROUS BIDIMENSIONNELS

La nature profonde inhérente aux accepteurs des semi-conducteurs à large bande interdite rend difficile la formation de contacts p-ohmiques et

l'alimentation des trous, ce qui empêche une transformation suffisante de l'électricité en lumière. La société BOLB a mis au point une méthode pour augmenter le nombre de trous disponibles et, par conséquent, augmenter les performances des LED. Au lieu d'un semi-conducteur massif à large bande interdite, ils ont utilisé une combinaison ultra-mince d'une couche d'AlN dopée au Mg et d'une couche de p-AlGaIn/AlGaIn (voir Fig. 1). En raison de la grande différence entre les constantes intrinsèques du réseau des couches respectives, l'AlN subit une grande contrainte de traction biaxiale s'élevant à 0,94 % sans relaxation. En raison de la polarisation piézo-électrique, une densité de charge

ACHETER

de $-1.28 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ est créée à la surface de cette couche. La fine couche de GaN dopée au Mg sous la couche de p-AlN est utilisée pour maximiser la discontinuité de polarisation spontanée entre l'AlN et le GaN, ce qui crée une densité de charge nette de $-3.25 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$.

La combinaison des charges piézo-électriques et spontanées transforme la couche de p-AlN en un condensateur virtuel à plaques parallèles avec une densité de charge d'environ $-4.53 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$. Elle produit un champ électrique de près de 9,0 MV/cm, qui laisse passer à travers le matériau des trous précédemment liés à des accepteurs dans un tunnel de p-AlN avec une probabilité de 0,65 %. À une concentration d'accepteurs de $2,0 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$, cet effet entraîne une concentration de trous de $1,3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$. La plupart d'entre eux sont entraînés vers la surface de la couche ultra-mince d'AlN où ils forment ce qu'on appelle un gaz à trous bidimensionnels (2DHG), qui rend le matériau AlN habituellement isolant pratiquement conducteur.

Bolb a appliqué cette technologie pour créer des LED UVC présentant une tension directe typique de 6,5 V à 271 nm. Avec un WPE de 8,55 %, elles atteignent un flux radiant de 100 mW. Leurs LED germicides

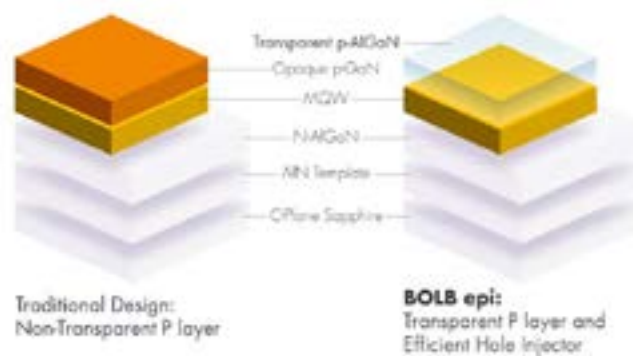


Figure 1.

Schéma de LEDs en AlGaIn pour la génération de rayonnement UVC. Gauche : architecture conventionnelle. Droite : procédé développé par BOLB remplaçant la couche opaque de GaN par une couche p transparente d'AlGaIn. En combinaison avec un injecteur de trous efficace, cette approche permet d'obtenir des puissances de sortie UVC élevées.

CRISTAUX À COUCHES HAUTEMENT RÉFLÉCHISSANTES

RIKEN et Panasonic ont suivi une voie différente plus conventionnelle, en concevant de nouvelles structures de couches et de nouvelles techniques de croissance cristalline pour l'AlN et l'AlGaIn à large bande interdite. Leur objectif principal était d'améliorer l'efficacité de l'extraction de la lumière (*Light extraction efficiency - LEE*), c'est-à-dire la fraction des photons générés qui s'échappent de la LED. Pour atteindre cet objectif, ils ont associé une couche transparente de contact p à une électrode hautement réfléchissante. La première consistait en une couche de p-AlGaIn avec une composition de 50 à 70 % d'Al, ●●●

sont parmi les plus puissantes actuellement sur le marché. Sur la base de leur technologie, Bolb s'attend à une augmentation considérable du WPE au cours de la prochaine décennie, avec pour objectif de dépasser les 50 % d'ici 2030.

ACHETER

mais la faible concentration de trous de ce matériau a conduit à une tension de fonctionnement considérablement plus élevée que celle utilisée dans les LED classiques.

Pour maintenir la tension au niveau habituel, les scientifiques ont utilisé la nano-impression et la gravure sèche par plasma inductif pour créer un cristal photonique bidimensionnel à faible dommage et hautement réfléchissant, qui a été appliqué sur la surface de la couche de contact supérieure en p-GaN. Cette nouvelle conception de diode a été complétée par deux types d'électrodes de type p — à savoir une électrode Ni à faible réflexion (30 %) et une électrode Ni/Mg à forte réflexion (80 %). Grâce à ces mesures, ils ont pu créer une diode UVC-LED AlGaIn avec une efficacité quantique externe (EQE) d'environ 20 %.

**UNE QUESTION
DE LONGUEUR D'ONDE**

Dans la recherche de « la bonne » LED UV, l'application — et donc la longueur d'onde souhaitée — est bien sûr une priorité absolue. Le rayonnement ultraviolet est la gamme de longueurs d'onde comprise entre le spectre visible et les rayons X (c'est-à-dire les faisceaux de haute énergie à ondes courtes entre environ 400 nm et 100 nm). Tout comme la lumière visible peut être divisée en différentes couleurs, le rayonnement UV invisible est traditionnellement divisé en différentes gammes de longueurs d'onde. Il a été démontré que cette catégorisation peut également s'appliquer à l'utilisation industrielle et commerciale de la « lumière UV ».

UV-A

L'UV-A décrit la gamme de longueurs d'onde entre la fin de la lumière visible (environ 400 nm) et 320 nm. Dans la gamme de longueurs d'onde comprise entre 420 nm et 390 nm, les premières LED ont été disponibles vers la fin des années 1990. Cette lumière dite « noire » sert principalement à exciter la fluorescence et est utilisée, par exemple, dans la fabrication des

billets de banque, des cartes d'identité et des documents à l'épreuve de la contrefaçon. Toutes ces applications ne nécessitent que de faibles niveaux de puissance de sortie.

Le rayonnement UV entre 390 nm et 350 nm est utilisé dans l'industrie pour la polymérisation des adhésifs, des revêtements, des encres et de nombreux autres matériaux. En raison de leur grande efficacité, de leur faible coût de fonctionnement et de leur conception compacte, les diodes remplacent de plus en plus d'autres technologies, comme les lampes à vapeur de mercure.

UV-B

UV-B est le terme utilisé pour les longueurs d'onde comprises entre 320 nm et 280 nm. Les diodes électroluminescentes polyvalentes entre 340 nm et 300 nm sont la dernière introduction sur le marché dans le segment des longueurs d'onde UVA/B. Elles offrent un grand potentiel pour de nombreuses applications différentes, telles que le séchage UV, l'analyse de l'ADN, la dermatologie et la technologie des capteurs.

UV-C

L'UV-C commence à 280 nm et se termine à 200 nm. Comme la lumière UV-C est complètement absorbée par l'atmosphère, aucune des créatures vivantes sur Terre n'a développé de défenses naturelles contre ce

rayonnement de haute énergie. Cela s'applique aux humains, ainsi qu'aux bactéries et aux virus. Le rayonnement est absorbé par les brins d'ADN et d'ARN des organismes conduisant à une « agglutination » des séquences de nucléotides qui détruit l'information génétique d'une cellule. Ainsi, la cellule ne peut plus se reproduire et peut même être tuée.

Les LED germicides à 270 nm sont très proches du maximum d'absorption des acides nucléiques (265 nm) et peuvent donc être utilisées de manière particulièrement ciblée dans la lutte contre les micro-organismes (voir Fig. 2). Outre la longueur d'onde et la puissance de sortie, les propriétés spécifiques des différents germes doivent également être prises en compte dans les applications de désinfection. Un taux de désinfection suffisant de 99,9999 % n'est souvent atteint qu'après une longue période d'irradiation.

**PLUS PETIT ET PLUS EFFICACE
QUE LES SOLUTIONS
PRÉCÉDENTES**

La longueur d'onde émise et la puissance d'une LED jouent toutes deux un rôle crucial dans son succès commercial. Les LED UV-C à ondes courtes ont fait des progrès significatifs ces dernières années. Les lampes à vapeur de mercure, qui sont utilisées comme sources de rayonnement depuis des décennies, sont de plus en plus remplacées par des LED car elles présentent plusieurs avantages par rapport à cette technologie traditionnelle :

- Alors que les lampes à vapeur de mercure nécessitent des tensions élevées et génèrent beaucoup de chaleur, les LED peuvent fonctionner avec des tensions et des courants continus faibles. Cela rend également possible une utilisation mobile.
- Comme les LED n'émettent pratiquement pas de rayonnement thermique dans la direction du faisceau, elles peuvent également être utilisées pour le traitement de matériaux sensibles à la chaleur.
- Contrairement aux lampes à vapeur de mercure, les LED ne nécessitent

Figure 2 .
Tente de Décontamination SARS-CoV-2, UVC,
Wuhan, mars 2020.



ACHETER

pas de « temps de chauffe » et sont immédiatement prêtes à l'emploi. Cela permet également de faire fonctionner les émetteurs avec des impulsions de l'ordre de la milliseconde et de la nanoseconde.

- La longueur d'onde, l'intensité du rayonnement et la forme du faisceau peuvent être ajustées relativement facilement pendant la production. Alors que les lampes à vapeur de mercure nécessitent que certaines longueurs d'onde, les LED peuvent être fabriquées pour une large gamme de longueurs d'onde en variant la composition des matériaux semi-conducteurs. L'intensité du faisceau peut être facilement contrôlée par l'alimentation électrique.
- Les LED sont petites, compactes et peuvent être intégrées dans presque toutes les applications. Contrairement aux lampes à vapeur de mercure, elles ne sont pas fragiles et ne contiennent pas de substances toxiques.

DES MARCHÉS SATURÉS ET UN POTENTIEL DE CROISSANCE ÉLEVÉ

La situation du marché des LED UV dépend fortement de la longueur d'onde. L'état de développement technique est crucial car le cycle

d'adaptation technologique s'applique également dans ce domaine. Il commence par une innovation technique qui ouvre un nouveau marché : les quantités sont encore faibles, et les prix sont élevés. Au fil du temps, la nouvelle technologie s'établit sur le marché. Les quantités augmentent à mesure que la demande augmente et les prix baissent en conséquence. Le résultat est un marché saturé avec une production industrielle de masse, des quantités élevées et des prix bas. Les différents marchés des LED UV se trouvent à des stades différents de ce cycle de développement. La règle empirique est la suivante : « plus la longueur d'onde est courte, plus la LED est chère ».

La technologie des LED à lumière noire est mature depuis des décennies. Les coûts de fabrication sont par conséquent faibles, et les produits sont proposés à bas prix par de nombreux fabricants. La pression d'innover dans la gamme de longueurs d'onde entre 390 nm et 350 nm a entraîné une croissance rapide de ce segment de marché ces dernières années. Les coûts de fabrication sont toujours nettement plus élevés que dans le segment de la lumière noire ; toutefois, les méthodes de production de plus en plus efficaces et les

volumes croissants entraînent une baisse continue des prix.

Dans le segment des UVB, il a été possible, ces dernières années, d'augmenter la production des différentes diodes électroluminescentes ; cependant, la valeur de l'efficacité quantique est très faible.

Le marché des applications de désinfection est actuellement le segment le plus passionnant et le plus dynamique. Il est actuellement encore dominé par les anciennes lampes à vapeur de mercure ; toutefois, ces lampes sont encombrantes et fragiles. Elles ne sont donc pas adaptées aux applications mobiles. Ce n'est qu'il y a seulement quelques années que les LED UV-C ont également été développées avec un niveau de performance qui rend possible des solutions de désinfection efficaces. Les analystes s'attendent donc à ce que le marché des LED UV-C se développe rapidement au cours des prochaines années.

L'INNOVATION TECHNIQUE DÉCLENCHE DE NOUVEAUX STIMULI DE CROISSANCE

Maintenant que les bases techniques ont été posées, il est possible pour la première fois de faire des prévisions quant au développement futur du marché. Les experts l'assimilent au ●●●

UV LEDs



Pure Performance

High power UV LEDs
for outstanding applications.

www.lasercomponents.fr

ACHETER

marché des LED bleues, qui a été créé à la fin des années 80 avec une percée technique similaire. En outre, la crise actuelle du corona donne une impulsion durable au marché. Même avant la COVID-19, les analystes prédisaient que le marché des LED UV dépasserait la barre du milliard de dollars en quelques années seulement. Des géants du marché tels que Nishia ou San'an investissent actuellement des sommes importantes dans les LED UV-C, car ils attendent des marges élevées de ce segment en pleine croissance. Dans le même temps, de petites start-ups innovantes s'efforcent d'accroître leur avance technologique pour influencer le développement futur du marché.

Des puissances de 400 mW avec des rendements quantiques de 20 % sont attendus d'ici quelques années. À ce

rythme, le rendement en photons pourrait atteindre plus de 50 % d'ici 2030. Le prix serait alors d'environ un dollar par watt optique. Compte tenu des nombreux avantages décrits ci-dessus des LED par rapport aux lampes à vapeur de mercure, il est probable que les LED commencent à évincer du marché les solutions établies beaucoup plus tôt, d'autant plus que de nouveaux segments de marché qui ne peuvent être couverts par les technologies classiques (par exemple, dans le traitement mobile de l'eau) s'ouvrent en même temps.

La sensibilisation accrue à l'hygiène et à la désinfection résultant de l'actuelle pandémie de corona va encore stimuler la demande et le développement technique. Plusieurs grands constructeurs automobiles ont déjà annoncé qu'ils investiraient des millions dans des solutions de désinfection par UV pour l'intérieur des véhicules, qui ne peuvent être mises en œuvre qu'avec des LED appropriées. Des applications similaires sont actuellement en cours de développement pour les transports publics et les transports de patients. ●

RÉFÉRENCE

[1] B. Seme, I. Streit, *Photonics Views* **16**, 34-37 (2019)

SOCIÉTÉ	TYPE DE DISTRIBUTION	FABRICANT	TYPE DE LED	PUISSANCE MAX	SITES WEB
APTECH/RUTRONIK	Société basée en Allemagne	Lextar	UVC (270nm) UVA(395-405nm)	20mW 570-600mW	www.aptechsc.com
ES France	Société basée en France/ site marchand	Refond	LED : UV-B & UV-C	12mW	www.es-france.com
HTDS	Société basée en France	Seoul Viosys	UVC (275nm) UVB(285-310nm) UVA(340-420nm) Module 4 LEDs UVC (275nm)	50mW 10mW 5300mW 280mW (info Tarif 70€)	www.htds.fr
LASER2000	Société basée en France	Crystal IS	UVC(255-285nm)	3mW	https://register.gotowebinar.com/register/119356795396350220
LASER COMPONENTS SAS	Société basée en France	BOLB	UVC (272nm) Module 4 LEDs UVC (272nm) Module 12 LEDs UVC (272nm) Module 25 LEDs UVC (272nm)	100mW 360mW 1,2W 2W	www.lasercomponents.fr
LUMITRONIX	Site marchand/Site marchand/ Société basée en Italie	Nichia	UVC (280nm) UVA (365-405nm)	76mW 4640mW	https://b2b.lumitronix.com
Mouser	Site marchand	Luminus	UVC(275-286nm) UVA(365-405nm)	80mW 80mW	www.luminus.com
Mouser/Rutronik/PAN ELEKTRON S.R.L	Sites marchands	LiteOn	UVC(270-285nm) UVA(365-430nm)	80mW 1,8W	https://optoelectronics.liteon.com
Rutronik	Site marchand	Stanley	UVC(265-275nm)	50mW	www.stanley-components.com/en
Rutronik/Avnet/Mouser	Site marchand	Vishay	UVC (270-285nm) UVB(360-400nm)	19 mW 1325mW	www.vishay.com
Pas de distributeur identifié		PhotonWave	UVC (255nm ²⁶⁵ nm & 275nm) UVB (308nm)	42mW 40mW	www.iuva.org
		SanAn	UVC (270-280nm) Module UVC (275-286nm) UVB (305-315nm)	65mW 200mW 6mW	www.sanan-e.com/en
		Jason	UVC (260-270nm)	1mW	www.qdjason.com/en