Nitrure de gallium : une ascension électrisante

Mark Patrick, Mouser Electronics

La technologie du nitrure de gallium (GaN) est exploitée depuis de nombreuses années. Initialement utilisé pour traiter les caractéristiques haute fréquence des systèmes radio les plus performants, ce composé a ensuite permis l'essor de la production LED,avant de commencer à démontrer, ces dernières années, sa valeur en matière de systèmes d'alimentation. Dans cet article, nous explorerons l'impressionnant bagage du GaN.

La large bande interdite inhérente au GaN en fait une solution adaptée aux opérations haute vitesse à 60/70 GHz. Cette technologie a initialement été déployée pour des applications de communication par micro-ondes avec la commercialisation d'appareils développés par des sociétés telles que Wolfspeed (division de Cree). Les chercheurs de l'Université de Bristol développent actuellement des transistors à haute mobilité d'électrons (HEMT), constitués d'un dépôt de GaN sur un substrat de diamant, destinés aux réseaux cellulaires 5G et 6G nouvelle génération.
Cette large bande interdite a également fait du GaN un composé de choix pour les appareils à LED. Des sociétés telles que Broadcom/Avago, ST Microelectronics et LiteOn ont exploité cette technologie pour optimiser le rendement et la durée de vie des systèmes d'éclairage à semi-conducteurs.

Tous ces aspects ont entraîné une réduction des coûts de production du GaN, et les économies d'échelle se dessinent à l'horizon. Néanmoins, il convient de noter que les rendements de production de ce composé sont toujours inférieurs à ceux du silicium, et que cela affecte encore la tarification des appareils au GaN (même si ce rendement est appelé à s'améliorer, et réduira de facto les prix associés). Avec l'avènement des véhicules électriques, de nouvelles opportunités s'offrent à cette technologie en matière d'alimentation. Par ailleurs, divers concepts de transistors au GaN permettent de répondre aux exigences de fonctionnement à plus haute fréquence et de rendement optimisé, tout en réduisant la taille des modules d'alimentation. Et ces caractéristiques se vérifient dans toutes sortes de systèmes : des smartphones aux ordinateurs portables, en passant par les racks de centre de données.

Cette technologie permet même de combiner les fonctions sans fil et d'alimentation connexes - avec le développement d'une nouvelle génération de systèmes de chargement sans fil éliminant la nécessité d'un câble d'alimentation. Tous ces domaines d'application émergents contribuent à la popularité grandissante du GaN. Le mode d'amélioration permet de contrôler la vitesse de balayage en ajustant simplement la résistance de grille, limitant ainsi les éventuelles interférences électromagnétiques (IEM) du processus de commutation haute vitesse tout en réduisant sensiblement la taille des dispositifs de contrôle moteur.

Les véhicules hybrides et électriques imposent de sévères exigences en termes de conversion de puissance. Une transmission typique peut commuter jusqu'à 100 kW, et si un convertisseur au silicium standard génère des rendements culminant à 95 %, les convertisseurs au GaN atteignent quant à eux les 98 % (voire 99 %) en couvrant une plage de charges opérationnelles plus étendue. Cet écart peut sembler négligeable, mais la perte de puissance des composants au silicium dissiperait près de 5 kW, contre 1 kW pour leur équivalent au GaN : un aspect critique en matière de gestion thermique, car il permet de réduire le poids des dissipateurs de chaleur, voire de les éliminer totalement.

La réduction de 300 % constatée en termes de dissipation d'énergie permet de refroidir les moteurs par air, plutôt qu'à l'aide de radiateurs : un aspect plus crucial encore si l'on considère que le rendement d'un convertisseur au silicium chute à 70 % avec des charges inférieures, contre 90 % avec les appareils au GaN.

De nombreux fabricants de semi-conducteurs développent des technologies au GaN destinées aux applications d'alimentation, parmi lesquels figurent des multinationales reconnues telles que ST Microelectronics et Panasonic, mais également des start-up, telles que GaN Systems. L'atout majeur du GaN réside dans son rendement de conversion ; toutefois, il a été nécessaire de franchir un certain nombre d'étapes pour que cette technologie connaisse une adoption croissante. Celles-ci comprennent notamment la confirmation de sa fiabilité continue, ainsi que l'établissement des modèles SPICE et guides de conception requis pour aider les développeurs à utiliser les nouveaux appareils.

Si le GaN dispose d'une bande interdite bien plus étendue que le silicium, ce composé présente également une tension de rupture plus élevée : les transistors au GaN peuvent ainsi cibler des conceptions dont les tensions culminent à 650 V et 700 V. Occupant un espace plus restreint que les MOSFET et IGBT au silicium, ils permettent en outre de réduire la capacité parasite impliquée, et ainsi d'augmenter les vitesses de commutation.

Combinée à une vitesse de commutation accrue et à des tensions supérieures, cette faible capacité parasite offre la possibilité d'utiliser des composants plus compacts, tels que des transformateurs et des inducteurs, ce qui permet d'optimiser la compacité et le rendement des convertisseurs de puissance, à tel point que les chargeurs de téléphones mobiles et d'ordinateurs portables ne dépassent pas la taille d'une prise secteur. Toutefois, si ces appareils offrent de hautes performances, ils nécessitent également des contrôleurs ou pilotes de grille spécifiques.



Figure 1 : carte d'évaluation du transistor de puissance X-GaN 600 V de Panasonic

Panasonic a lancé la production de masse des transistors X-GaN avec mode d'amélioration 600 V et du contrôleur de pilote de grille haute vitesse. Ce dispositif permet aux transistors de traiter des fréquences culminant à 4 MHz (une valeur

élevée pour des applications d'alimentation) et intègre une fonction « pince Miller » active évitant tout problème lors des processus de commutation haute vitesse. Ces composants sont adaptés aux applications d'alimentation comprises entre 100 W et 5 kW, telles que les onduleurs de cellules photovoltaïques, les racks de centre de données, les sources d'alimentation de station de base pour appareils mobiles, ainsi que les équipements audiovisuels et les appareils médicaux.



Figure 2: appareils GaN E-HEMT de GaN Systems

GaN Systems a développé ses propres processus, conceptions et formats afin d'éviter toute liaison par câble, et peut ainsi fournir des CI offrant un niveau de fiabilité accru dans un format plus compact. La combinaison de sa technologie propriétaire Island™ et du format GaNPX permet la prise en charge de courants de centaines d'ampères, tout en réduisant la taille des dissipateurs de chaleur ou des ventilateurs. Ces appareils disposent d'un coefficient de température positif qui limite

le courant à mesure que la température augmente : une caractéristique essentielle pour les produits dotés de CI multipuces à courant élevé.

La structure de la technologie Island™ offre un double avantage : elle permet non seulement de réduire la taille et le coût des appareils au GaN, mais également de transférer le courant substantiel du métal de la puce à un porteur distinct.
GaN Systems a développé un modèle de référence BTP-PFC (Bridge-less Totem Pole - Power Factor Correction) à haut rendement de 3 kW - en utilisant ses appareils GaN E-HEMT pour traiter une entrée de 176 V à 264 V et produire une sortie de 400 V. Si l'architecture BTP-PFC est connue depuis plusieurs années pour offrir une topologie de convertisseur plus efficace, son implémentation pratique repose sur les performances supérieures dérivées des transistors au GaN.

Un circuit PFC standard est composé d'un redresseur à pont complet et d'un prérégulateur de suralimentation ; toutefois, une part substantielle des pertes intervient au niveau du pont de diodes et ne peut être évitée, même avec une commutation à tension zéro à l'étage de suralimentation. Cette contrainte intrinsèque limite le rendement de pointe de l'étage PFC conventionnel.

Un étage PFC performant peut atteindre un rendement de 97 % ou 98 % ; toutefois, en raison de la perte fixe inhérente au pont de diodes, il est très difficile d'obtenir une valeur supérieure avec des PFC standard. La norme 80PLUS Titanium implique par exemple un rendement en demi-charge de 94 % à basse tension et 96 % à haute tension. Étant donné qu'un convertisseur CC/CC standard offre un rendement de 97,5 %, le rendement de l'étage PFC doit être supérieur à 98,5 % pour répondre à la norme. Un PFC sans pont élimine le besoin de diodes, ainsi que les pertes associées, ce qui permet d'atteindre des rendements de 99 % ou plus.
Si le modèle BTP-PFC a été présenté auparavant, son application était jusqu'à récemment très limitée. Le principal défi à surmonter réside dans les piètres performances de reprise inverse des MOSFET au silicium conventionnels en configuration demi-pont. Les appareils au GaN ne nécessitent aucune diode de corps et leur fonctionnement haute fréquence permet une commutation solide à l'étage d'alimentation demi-pont.

La carte d’évaluation associée intègre trois composants majeurs : la carte fille du contrôleur PFC 3,3 V, la carte fille demi-pont GaN 5 V et la carte mère. Cette dernière comprend un filtre IEM, le circuit de démarrage, les MOSFET de fréquence de ligne au silicium et leurs circuits de pilote de grille, ainsi que les circuits de détection de la tension et du courant. La carte fille du contrôleur PFC héberge le courant, la tension d’entrée de ligne, les broches d’échantillonnage de tension de sortie et intègre quatre sorties modulées à largeur d’impulsion (PWM) : deux menant au demi-pont GaN et les deux autres aux MOSFET de fréquence de ligne au silicium.

En combinant haute fréquence et puissance élevée, la technologie GaN offre une capacité de chargement sans fil. Les normes telles que celles établies par l’AirFuel Alliance impliquent des fréquences de commutation de 6,78 MHz et 13,56 MHz : des valeurs difficiles à obtenir avec des MOSFET au silicium. Les appareils au GaN offrent quant à eux une commutation haute fréquence et un format plus compact permettant non seulement d’intégrer les chargeurs sans fil aux petits modules 700 W pour ordinateurs portables, mais également de prendre en charge les applications de chargement sans fil dotées de puissances nominales supérieures (de 3 kW, 7 kW et 11 kW) destinées aux véhicules électriques.

Conclusion

Initialement utilisé pour les applications sans fil à haute fréquence, le GaN s’est frayé un chemin jusqu’aux appareils à LED et intègre à présent les conceptions d’alimentation courantes. Les caractéristiques uniques de cette technologie se combinent pour fournir le rendement de 99 % requis en vue de répondre aux normes d’alimentation actuelles à l’échelle du système. Les dispositifs et modules électroniques portables nécessitant une puissance croissante de la part de chargeurs de plus en plus compacts, le GaN devient un composé incontournable pour de nombreux concepteurs. La démocratisation des véhicules électriques a par ailleurs contribué à accroître la demande de systèmes de chargement efficaces à haute puissance – un domaine dans lequel le GaN est une technologie clé. Des véhicules hybrides à branchement ou purement électriques aux voitures à chargement sans fil nouvelle génération, les transistors au GaN sont parfaitement

positionnés pour contribuer à la pérennité de l’industrie automobile, comme à celle de nombreux autres secteurs industriels.