

Réf : ONSAR3168

Semi-conducteurs en carbure de silicium – la prochaine technologie clé pour les véhicules électriques et les onduleurs solaires

Par:

Didier Balocco, Business Marketing Engineer, onsemi



Figure 1 : Les semi-conducteurs sont essentiels à un certain nombre de technologies émergentes et respectueuses de l'environnement.

Il est indéniable qu'en tant que société, nous devons passer à des alternatives durables, alors que les irrégularités toujours croissantes des conditions météorologiques et la diminution des calottes polaires fournissent des preuves évidentes des effets de plus en plus marqués du changement climatique. Mais il est malheureusement évident que l'abandon des combustibles fossiles s'avère incroyablement difficile, et que le passage à des technologies plus vertueuses engendre un certain nombre de défis techniques. Qu'il s'agisse de la production qui doit suivre le rythme de marchés en expansion rapide ou de nouvelles solutions qui peinent à égaler le rendement de systèmes existants, ces problèmes doivent être résolus si nous voulons reléguer le pétrole dans le passé.

Pour les applications telles que les véhicules électriques (EV) et les panneaux solaires, les ingénieurs sont confrontés à des défis supplémentaires : les composants électroniques novateurs doivent fonctionner de manière continue et fiable dans des environnements difficiles. Pour favoriser l'adoption de ces solutions durables, nous avons besoin d'innover au niveau des composants pour améliorer l'efficacité globale du système tout en le rendant plus robuste. Les semi-conducteurs

en carbure de silicium (SiC) sont une technologie qui s'impose rapidement comme une solution capable de réaliser ces avancées nécessaires.

Que sont les semi-conducteurs SiC ?

Faisant partie de la troisième génération de technologie des semi-conducteurs, les solutions SiC se caractérisent par une large bande interdite (*wide bandgap*, WBG) et offrent des niveaux de performances élevés. Cet écart énergétique plus grand entre les couches (par rapport aux générations précédentes de semi-conducteurs) augmente l'énergie nécessaire pour faire passer le semi-conducteur de l'état isolant à celui de conducteur. À titre de comparaison, les semi-conducteurs de première et deuxième génération nécessitent des valeurs comprises entre 0,6 eV et 1,5 eV pour commuter, tandis que les semi-conducteurs de troisième génération ont des valeurs comprises entre 2,3 eV et 3,3 eV. En termes de performances, les semi-conducteurs WBG présentent une tension de claquage dix fois plus élevée et sont moins susceptibles d'être activés par l'énergie thermique. Cela se traduit par une plus grande stabilité, une fiabilité accrue, une meilleure efficacité grâce à une perte de puissance réduite et une température maximale de fonctionnement plus élevée.

Pour les fabricants de véhicules électriques et d'onduleurs qui ont besoin d'excellentes capacités pour la forte puissance, de température élevée et de travailler à haute fréquence, les semi-conducteurs SiC représentent une perspective passionnante. Mais concrètement, comment cette performance se traduit-elle et comment l'industrie des semi-conducteurs se prépare-t-elle à répondre à la demande potentielle ?

Le SiC pour les véhicules électriques

Dans un véhicule électrique et le réseau de recharge qui l'accompagne, les semi-conducteurs ayant des performances supérieures sont au cœur des stations de recharge AC-DC, des chargeurs rapides DC-DC, des systèmes d'onduleurs pour les moteurs et des transformateurs haute tension vers basse tension des véhicules. Ce sont ces systèmes que les semi-conducteurs SiC permettent d'optimiser, en offrant une efficacité accrue, des performances maximales plus élevées et une fréquence de fonctionnement plus rapide, contribuant ainsi à des temps de recharge plus rapides, ainsi qu'à une meilleure utilisation de la capacité des batteries. Cela peut permettre d'augmenter l'autonomie du véhicule électrique ou de diminuer la taille de la batterie, réduisant ainsi la masse et les coûts de production du véhicule, tout en améliorant les performances, favorisant ainsi une adoption à grande échelle des véhicules électriques.

Bien qu'ils fonctionnent à des températures plus froides que leurs homologues à moteur à combustion interne, les véhicules électriques représentent toujours un environnement incroyablement difficile pour l'électronique de puissance, et la gestion thermique est un élément clé pour les concepteurs. Pour de nombreux dispositifs antérieurs basés sur des transistors bipolaires à grille isolée au silicium (*insulated-gate bipolar transistor*, IGBT), les conditions de fonctionnement à l'intérieur d'un véhicule électrique peuvent entraîner une défaillance au cours de la durée de vie prévue du véhicule. Avec les solutions SiC, la limite thermique est considérablement plus élevée et la conductivité thermique est en moyenne 3 fois plus élevée, ce qui facilite la propagation de la chaleur vers le milieu environnant. Cela se traduit par une fiabilité accrue, permettant de réduire les besoins de refroidissement, de diminuer encore le poids et d'éliminer des problèmes montage.

L'amélioration de la tension maximale applicable et de la capacité d'avalanche offerte par la technologie SiC permet également aux constructeurs de réduire les temps de recharge et le poids des véhicules. En règle générale, la plupart des infrastructures pour véhicules électriques se situent dans une plage de tension variant de 200 V à 450 V, mais les constructeurs automobiles cherchent à améliorer ces performances en passant à une tension nominale de 800 V. Le premier véhicule à mettre en œuvre ce changement a été la Porsche Taycan haut de gamme, mais de plus en plus de constructeurs emboîtent le pas : le Ioniq 5 récemment annoncé par Hyundai, est désormais proposé avec des batteries ayant une tension nominale de 800 V, et ce à un prix de vente considérablement moins élevé.

Mais quelle est la raison de cette décision ? Les systèmes 800 V offrent plusieurs avantages, tels qu'un temps de charge plus rapide, une réduction de la taille des câbles (en raison d'un courant plus faible) et une diminution des pertes de conduction, qui tous permettent de réduire les coûts de production et d'améliorer les performances. Actuellement, les systèmes de charge rapide dépendent de câbles coûteux refroidis par eau, qui pourraient être éliminés, tandis que dans les véhicules, des câbles de plus petite section permettraient de réduire considérablement le poids et augmenterait l'autonomie du véhicule. Pour certains, le passage à 800 V est primordial pour créer le gain de performances nécessaire et convaincre les consommateurs d'adopter les véhicules électriques, mais ce développement n'est possible qu'en utilisant des semi-conducteurs SiC. Les semi-conducteurs de deuxième génération actuels n'ont tout simplement pas les performances et la fiabilité nécessaires pour fonctionner à de telles tensions dans l'environnement difficile que représente les véhicules électriques et leur infrastructure de recharge.

Le SiC pour la production d'électricité durable

Au-delà des véhicules électriques, d'autres secteurs en pleine croissance bénéficieront des performances fournies par la nouvelle génération de semi-conducteurs SiC. Les énergies renouvelables connaissent une expansion rapide et, par conséquent, les onduleurs solaires/éoliens et les solutions de stockage d'énergie décentralisées (*energy storage solutions*, ESS), qui dépendent toutes deux de la technologie des semi-conducteurs, devraient connaître un taux de croissance annuel moyen (*compound annual growth rate*, CAGR) de 13 % et 17 % respectivement. (Source : Global Solar Central Inverters Market 2022-2026)

À l'instar de l'augmentation de la tension des véhicules sur le marché des véhicules électriques, la technologie SiC permet aux parcs solaires d'augmenter la tension de sortie des panneaux mis en série. Les installations existantes fonctionnent généralement entre 1 000 V et 1 100 V, mais les nouveaux onduleurs centraux exploitant les semi-conducteurs SiC permettent d'atteindre 1 500 V. Cela induit une réduction de la taille du câble de raccordement (car le courant est plus faible) et le nombre d'onduleurs, car chaque dispositif permet d'installer un plus grand nombre de panneaux solaires. Le nombre d'onduleurs et la taille des câbles font partie des dépenses matérielles les plus importantes dans les parcs solaires. Leur diminution réduit considérablement le coût global d'un projet.

Les avantages de la technologie SiC pour les applications dans le domaine des énergies renouvelables vont au-delà de la simple prise en charge de tensions plus élevées. Par exemple, les MOSFET EliteSiC M3S 1 200 V d'onsemi se caractérisent par une réduction de la perte de puissance allant jusqu'à 20% dans les applications de commutations forcées telles que celles observées dans les onduleurs solaires, par rapport aux principaux concurrents du secteur. De telles économies peuvent avoir un impact considérable si l'on considère l'ampleur des opérations concernées : rien qu'en Europe, il existe 208,9 GW de parcs solaires. (Source : Global Solar Central Inverters Market 2022-2026)

En termes de fiabilité, les parcs solaires et l'énergie éolienne offshore représentent des environnements incroyablement difficiles pour les composants électriques, et c'est dans ces environnements que la technologie SiC surpassera une fois de plus les solutions existantes. En autorisant des températures, des tensions et des densités de puissance plus élevées, les ingénieurs peuvent concevoir des systèmes plus fiables, plus petits et plus légers que les solutions silicium existantes. Les dimensions des onduleurs peuvent être réduites et de nombreux composants électroniques et certains dissipateurs thermiques environnants peuvent être éliminés. Le fonctionnement à plus haute fréquence de découpage permis par le SiC autorise l'utilisation de composants magnétiques plus petits, ce qui réduit encore davantage le coût, le poids et la taille du système.

Défis de la production de semi-conducteurs

Il est clair que pour les véhicules électriques et la production d'énergie durable, les semi-conducteurs SiC représentent une avancée majeure à presque tous les niveaux. Des MOSFET et des diodes SiC judicieusement mis en œuvre peuvent améliorer l'efficacité d'un système complet, tout en minimisant les contraintes de conception et, dans de nombreux cas, en réduisant le coût global du projet. Mais comme pour toute technologie d'avant-garde, la demande est considérable. De nombreux ingénieurs en électronique se demandent si la fabrication des composants SiC est prête à une adoption généralisée et si la production restera fiable à mesure que les quantités augmenteront.

Fondamentalement, l'un des principaux problèmes du SiC est sa fabrication. Si le carbure de silicium est abondant dans l'espace, il est malheureusement incroyablement rare sur Terre. Il doit donc être synthétisé en combinant du sable de silice et du carbone dans un four à résistance électrique en graphite à des températures comprises entre 1 600°C et 2 500°C. Ce processus développe une boule de cristal SiC, qui nécessite un usinage supplémentaire pour finalement donner naissance à un semi-conducteur SiC. Chaque étape de la production nécessite un contrôle de qualité extrêmement rigoureux afin de garantir que le produit final réponde à des normes de test strictes. Pour maintenir la qualité, onsemi a adopté une approche exclusive. En tant que seul fabricant industriel de SiC intégrant toute la chaîne de fabrication (du sable jusqu'au composant), il contrôle chaque étape du processus, du substrat jusqu'au module final (Figure 2).

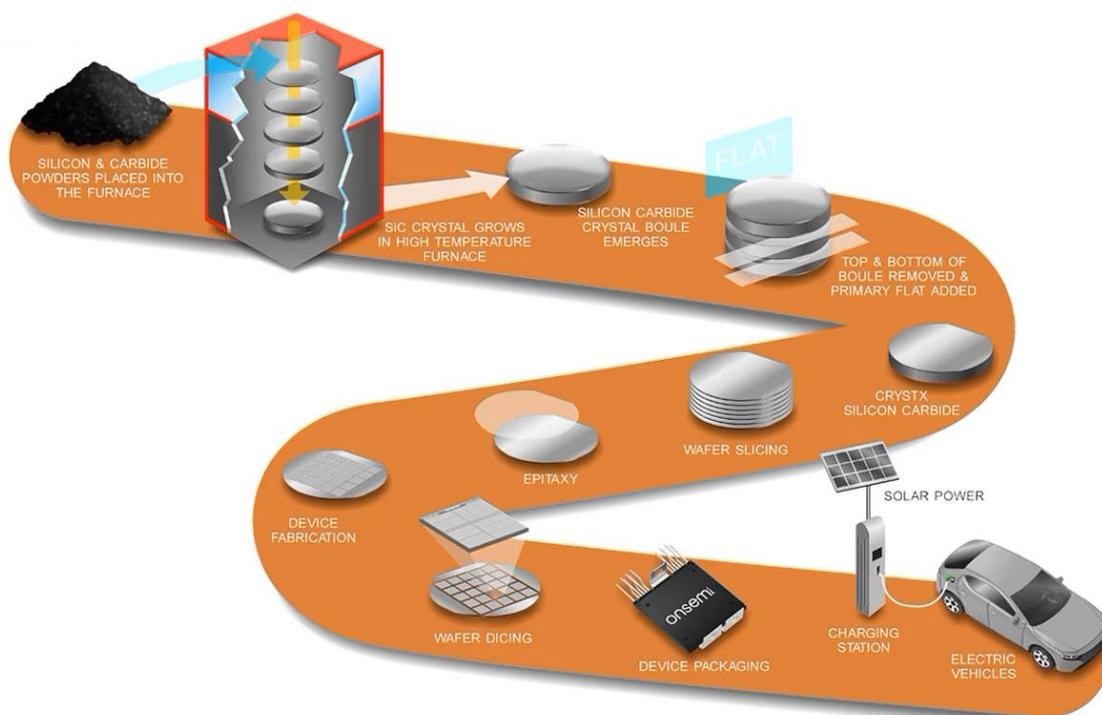


Figure 2 : production SiC de bout en bout de onsemi

Dans leurs installations, le silicium et le carbone sont combinés dans des fours avant d'être usinés par commande numérique (*Computer numerical control, CNC*) en rondelles cylindriques et découpés en tranches minces. En fonction de la tension de fonctionnement requise, une couche d'épithaxie spécifique (Figure 3) est produite sur la plaquette avant que celle-ci ne soit découpée en puces individuelles et emballée. En contrôlant le processus du début à la fin, onsemi a pu créer un système de production incroyablement efficace, prêt à répondre à la demande croissante de SiC.

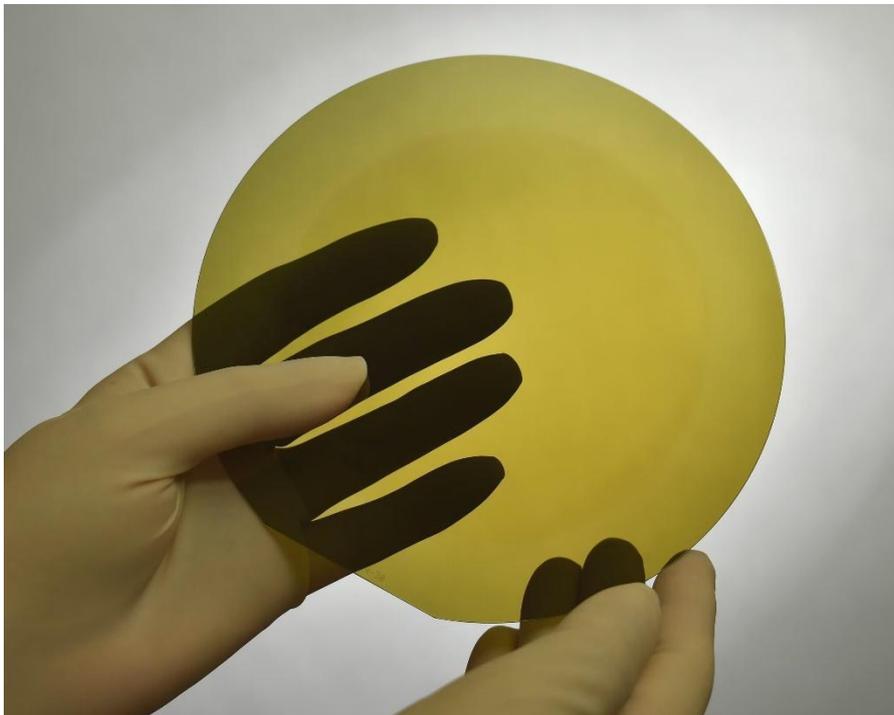


Figure 3 : Une couche d'épithaxie d'une plaquette SiC

Bien que onsemi ait mis à profit son expérience acquise dans la production de technologies à base de silicium, de nombreux défis spécifiques aux matériaux SiC doivent être pris en compte pour garantir un produit final robuste et de haute qualité. Par exemple, de nombreux aspects normatifs existants conçus pour la

technologie du silicium ont dû être adaptés et améliorés/renforcés pour créer un produit final fiable. Comprendre les mécanismes de défaillance potentiels est essentiel au maintien de la qualité et, grâce à une collaboration approfondie avec des universités et des centres de recherche, onsemi a pu identifier des moyens de caractérisation et d'amélioration de la fiabilité du SiC dans diverses conditions. Le résultat de cette recherche est une méthodologie complète qui a pu être appliquée à tous les processus SiC d'onsemi.

SiC – la bonne technologie au bon moment ?

Pour que les technologies durables aient l'impact réel nécessaire pour nous aider à atteindre les objectifs climatiques mondiaux, l'efficacité, la fiabilité et la rentabilité sont essentielles. Historiquement, il a été pratiquement impossible de trouver des solutions au niveau des composants qui répondent à ces trois critères, mais pour de nombreuses applications, c'est pourtant ce qu'offre la technologie SiC. Même si des pénuries d'approvisionnement au niveau mondial ont quelque peu ralenti l'arrivée des semi-conducteurs SiC, il est clair que nous allons désormais assister à une montée en puissance rapide de cette technologie.

L'adoption à grande échelle du SiC reste encore confrontée à des défis, tels que la capacité des fabricants de semi-conducteurs à répondre à la demande et garantir le maintien de la qualité et la fiabilité. Mais grâce à la collaboration et à la recherche, comme celle entreprise par onsemi, l'industrie devrait être en mesure de garantir le maintien de normes élevées et l'optimisation de l'efficacité de la fabrication. En termes de déploiement, il est important de rappeler que les semi-conducteurs de première et deuxième génération auront toujours leur place. Pour des implémentations telles que certains circuits intégrés logiques et puces RF, les hautes performances du SiC ne sont probablement pas justifiées, mais pour des applications telles que les véhicules électriques et l'énergie solaire, le sentiment que la technologie SiC va s'avérer révolutionnaire est communément admis.