

Conception et réalisation de modules de puissance SiC innovants sur radiateur céramique à refroidissement double face

“L’avion plus électrique” est un des défis visés par les équipementiers aéronautiques avec pour objectifs une réduction du poids et du nombre de phases de maintenance de l’aéronef. Cette nouvelle conception nécessite l’utilisation de machines électriques avec une électronique de commande possédant un haut niveau de fiabilité dans des environnements sévères. L’électronique de commande des machines est réalisée à partir de composants semi-conducteurs de puissance. Ces derniers sont assemblés dans des boîtiers appelés « modules de puissance » dont l’objectif est de relier électriquement les composants avec leur environnement et de permettre une évacuation aisée des calories produites lors de leur fonctionnement. Ils sont généralement le siège de variations de température très importantes en condition de fonctionnement, ce qui nécessite des matériaux et une architecture du module résistante au cyclage thermique.

L’objectif principal de cette thèse est le développement d’un module de puissance très compact utilisant des composants semi-conducteurs en Carbure de Silicium (SiC). Ce module de puissance sera conçu afin de rendre possible le refroidissement double face des composants semi-conducteurs tel que présenté sur la figure 1 afin de diminuer au maximum la résistance thermique globale.

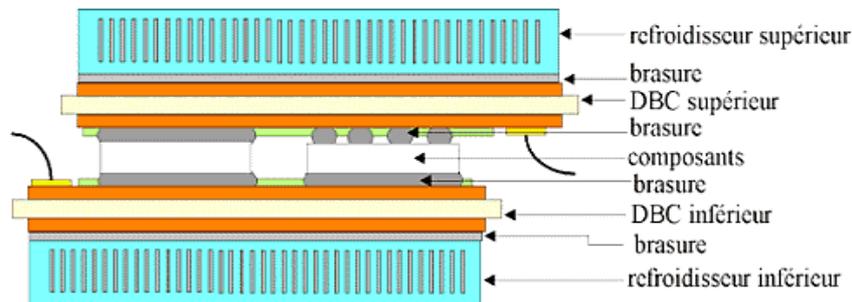


Figure 1. Module de puissance refroidi double face

En règle générale, les composants semi-conducteurs de puissance sont reportés sur un substrat céramique métallisé (noté DBC sur la figure 1) qui est lui-même assemblé sur un dissipateur en aluminium. Les défauts de cette solution sont multiples :

- De nombreuses interfaces dégradent la gestion thermique.
- De nombreux joints de brasure métallique ayant des coefficients de dilatation éloignés des matériaux céramiques et une résistance mécanique en température médiocre induisent une dégradation accélérée sous l’effet des fortes contraintes thermomécaniques du dispositif en fonctionnement.

Ainsi, l’originalité de cette thèse porte sur l’étude et la réalisation d’un module de puissance dont les composants semi-conducteurs seront reportés directement sur un dissipateur en céramique via une attache créée par frittage de pâte d’argent (figure 2). Le nombre d’interfaces entre matériaux sera donc grandement limité et tous les matériaux de l’assemblage seront compatibles avec des températures pouvant dépasser 200°C, ce qui est une contrainte importante, notamment pour des dispositifs électroniques se trouvant à proximité de zones très chaudes de l’aéronef. De plus, les circuits de commande et les capacités de découplage pourront être assemblés sur le même support simplifiant ainsi

la mise en œuvre du module de puissance tout en améliorant son comportement vis-à-vis de contraintes de compatibilité électromagnétique. Enfin la faible masse volumique de la céramique permettra de réaliser des modules de puissance avec une faible masse ce qui est de première importance pour les applications aéronautiques.



Figure 2 : Micrographie de la liaison entre un composant à semi-conducteur et un radiateur électrique

Le travail sera divisé en quatre tâches principales :

1. Etude bibliographique

Un état de l'art exhaustif sera effectué sur les modules de puissance et les solutions de report des composants d'électronique de puissance (brasure haute température, frittage d'argent...). Il permettra de choisir et de classer les solutions potentielles pouvant être envisagées pour la fabrication du module de puissance.

2. Développement des briques technologiques

Une étude séquentielle des différentes étapes technologiques nécessaires à la mise en place du module de puissance sera effectuée. Dans un premier temps, les briques technologiques de base seront étudiées et évaluées. Il s'agit en particulier :

- de l'accroche et du dépôt d'une couche d'argent épaisse ($> 100\mu\text{m}$) sur la céramique,
- du report des composants sur cette couche d'argent notamment par frittage de nano ou de microparticules d'argent,
- des matériaux d'encapsulation (protection électrique au sein du module).

L'évaluation de ces procédés passera par des analyses destructives et non destructives : dilatométrie, tomographie X, microscopie acoustique, caractérisation microstructurale, cyclage thermique et tests mécaniques en cisaillement...

Cette étude débouchera sur la mise au point d'un module de puissance simplifié refroidi sur une seule face. Il s'agira ensuite de mettre en place des moyens d'alignement des différents éléments lors de l'assemblage afin de pouvoir réaliser un module simplifié refroidi sur ses deux faces. Une évaluation électrique et thermique des modules réalisés sera effectuée.

3. Modélisation multi-physique

Des simulations élément-finis sous ANSYS seront mises en place afin d'estimer la cartographie des contraintes thermiques, mécaniques et électromagnétique dans les modules de puissance pour des profils de missions aéronautiques. Dans un premier temps, les propriétés des matériaux seront issues de la littérature puis, après les premières caractérisations, des valeurs plus représentatives de l'application pourront être intégrées.

4. Fabrication et caractérisation d'un démonstrateur

Une fois les briques technologiques développées et les outils de simulation mis en place, le doctorant effectuera la conception du démonstrateur final de module de puissance à partir d'un cahier des charges. Il fabriquera ensuite le module de puissance puis le caractérisera en termes de comportement électrique, d'impédance thermique, de pertes, de vieillissement sous cyclage thermique, de surtensions lors de commutations, etc. Il sera amené à mettre en place d'autres technologies de modules de puissance ou de refroidissement afin de permettre une comparaison entre la technologie développée et d'autres plus classiques.

Ce travail de thèse sera mené dans le cadre d'une convention CIFRE avec le groupe SAFRAN et en collaboration avec les laboratoires G2Elab et SIMAP de Grenoble.

Profil du candidat

Diplômé d'un Master recherche ou équivalent d'une école d'ingénieur ou d'une université avec:

- Des connaissances approfondies en science des matériaux.
- De connaissances additionnelles sur les matériaux et procédés pour l'électronique et/ou la modélisation éléments finis

En complément, le candidat doit être :

- créatif et autonome
- à l'écoute avec de bonnes capacités d'analyse
- capable de travailler en équipe
- capable de bien communiquer à l'oral et à l'écrit au moins en anglais ou en français

Contacts

Didier Bouvard, SIMAP : didier.bouvard@grenoble-inp.fr

Jean-Michel Missiaen, SIMAP : jean-michel.missiaen@grenoble-inp.fr