



Laboratoire de l'Intégration du Matériau au Système CNRS UMR 5218

## Rapport

de Monsieur Pascal FOUILLAT, Professeur à l'ENSEIRB,  
sur les travaux de thèse de Monsieur Vratislav MICHAL,  
pour l'obtention du grade de docteur de l'Université Pierre et Marie Curie,  
ayant pour sujet :

### ***Conception d'un circuit intégré CMOS pour l'électronique de lecture de capteurs bolométriques à base de semiconducteurs ou supraconducteurs haute température***

Les travaux de Monsieur Vratislav MICHAL ont été réalisés dans le cadre du projet européen Marie Curie *NANOTIME (NANostructures of Oxides for Terahertz IMaging Exploration)* focalisé sur la détection et l'imagerie *Terahertz*. Avec ce travail de thèse, l'auteur apporte sa contribution à la conception d'une instrumentation électronique associée à des capteurs bolométriques et implantée dans un circuit intégré en technologie de CMOS. Les points abordés concernent plus spécifiquement les architectures de l'amplificateur de lecture dans une très large gamme de température de fonctionnement, et de filtres actifs passe-bas haute fréquence pour l'amélioration du rapport signal à bruit.

Le document résumant les travaux de thèse est rédigé en langue anglaise et organisé en quatre parties accompagnées d'un résumé détaillé en français, d'une bibliographie, et d'un résumé court en 3 langues (anglais, tchèque et français). Dans la première partie, l'auteur décrit de manière concise les caractéristiques électriques des capteurs bolométriques à semiconducteur et supraconducteur, et celles des transistors en technologie CMOS dans laquelle sera implantée l'électronique de lecture et de traitement de l'information. La particularité de l'instrumentation à développer le conduit à présenter une analyse fine des sources de bruit dans les composants et de leur mise en forme dans des circuits électroniques avec ou sans contre-réaction. Les aspects fondamentaux autour de l'influence de la température sur les caractéristiques de l'électronique de mesure sont reportés dans une autre partie. Cependant un commentaire général sur l'aptitude du modèle BSIM3 à couvrir correctement le domaine des très basses températures, et qui sera utilisé par la suite pour la conception du circuit intégré, aurait pu être intégré à ce niveau. Ce chapitre bien documenté et rédigé avec soin, met en exergue l'environnement pluridisciplinaire des travaux dans lequel l'auteur a su extraire correctement les informations les plus pertinentes et utiles à la réalisation des travaux de recherche.

La deuxième partie analyse les architectures électroniques ainsi que les circuits classiques d'amplificateurs instrumentaux compatibles avec l'utilisation de capteurs bolométriques. L'auteur en déduit la possibilité d'atteindre des performances améliorées par la mise en œuvre d'une structure originale qu'il spécifie, avec une polarisation en courant du capteur relié par couplage capacitif à un amplificateur différentiel de lecture sans contre-réaction. Il justifie correctement ce choix qui permet effectivement d'atteindre un meilleur niveau d'intégration du circuit et de repousser les limites en fréquence, en réduction de bruit et en consommation par rapport aux dispositifs plus traditionnels. La difficulté majeure et tout l'intérêt de ce travail de thèse réside alors dans les solutions alternatives qui seront



Laboratoire de l'Intégration du Matériau au Système CNRS UMR 5218

apportées à la maîtrise du gain de la chaîne de mesure (40 dB) sur une gamme de température de 70K à 300 K et une basse passante de quelques MHz, tout en respectant un faible niveau de bruit de quelques  $nV/\sqrt{Hz}$ . Monsieur Vratislav MICHAL apporte ici la preuve d'une bonne connaissance des contraintes d'intégration des amplificateurs dédiés à l'instrumentation.

La troisième partie présente la contribution effective de l'auteur à la conception et à l'intégration de l'amplificateur de lecture. La prévision du comportement en température des nouvelles architectures électroniques s'appuie sur l'extraction de trois paramètres caractéristiques des modèles analytiques utilisés dans les lois de variation de la mobilité des porteurs de charges et de la tension de seuil dans le transistor MOS. Dans une démarche progressive et pédagogique, l'auteur nous amène à la définition d'une structure amplificatrice s'appuyant sur l'utilisation d'une charge active originale à *faible transconductance* appliquée à un étage de type *cascode replié* pour atteindre les 40 dB de gain souhaités sur une large bande passante, sans faire appel à des transistors aux dimensions excessives et aux performances difficilement maîtrisables. Le gain de cet amplificateur sans contre-réaction devient alors indépendant des paramètres technologiques et son contrôle est rendu possible en agissant uniquement sur les paramètres géométriques. Un dimensionnement rigoureux des transistors de la charge à *faible transconductance* permet d'afficher avec cette technologie faible coût un niveau de bruit comparable aux meilleurs amplificateurs du marché réalisés dans des technologies généralement bipolaires. Une version améliorée de la charge à *faible transconductance* est aussi proposée dans le but d'améliorer la linéarité de la caractéristique de transfert, la tension de décalage en sortie et la compensation en température jusqu'à -70 K. Une implantation de ces structures a été réalisée en technologie CMOS AMS 0,35  $\mu m$ . Une caractérisation électrique rigoureuse permet d'exhiber d'excellentes performances avec un gain très voisin de 40dB, une consommation réduite de l'ordre de 2 mA, un produit gain-bande atteignant 1,7 GHz à 77 K dans la première version, un niveau de bruit jusqu'à  $2 nV/\sqrt{Hz}$ , et un taux de distorsion très faible pour la dernière version. Les résultats présentés dans cette partie, très compétitifs par rapport à l'état de l'art, sont le fruit d'un travail conséquent et d'une démarche scientifique rigoureuse.

La dernière partie présente l'optimisation de filtres actifs analogiques principalement en vue d'accroître le taux de réjection hors bande. Bien qu'utilisables dans la chaîne de traitement du signal issu de capteurs bolométriques, ces filtres sont ici présentés de manière déconnectée de ce contexte. Sur le plan expérimental, l'auteur apporte une contribution utile avec la réalisation d'un équipement réalisant le traitement analogique d'un signal par la mise en cascade d'un filtre d'ordre 1 avec jusqu'à 5 filtres d'ordre 2, les paramètres de ces filtres étant contrôlé numériquement. Sur le plan des architectures de filtres biquadratiques, une amélioration des performances de la structure classique de Sallen-Key est proposée pour réduire les effets parasites des composants actifs dans le domaine hors bande. La conception et l'implantation d'un convoyeur de courant en technologie CMOS AMS 0,35  $\mu m$  est aussi présentée, et les avantages de cette structure qui ne présente pas de zéros parasites dégradant les performances en haute fréquence sont aussi démontrées. Cette partie démontre une nouvelle fois la rigueur scientifique et la très bonne maîtrise acquise par l'auteur dans la conception des circuits intégrés analogiques.



Laboratoire de l'Intégration du Matériau au Système CNRS UMR 5218

Le document remis par Monsieur Vratislav MICHAL est de très bonne qualité, tant sur la forme que sur le fond. Les résultats présentés dans ce document sont appréciables tant par la qualité de la démarche scientifique que par la quantité des résultats présentés. La conception des amplificateurs de lecture pour capteurs bolométriques fonctionnant sur une large gamme de température font appel à des architectures intégrées innovantes en technologie CMOS. Ce travail original est renforcé par une méthodologie expérimentale rigoureuse. Monsieur Vratislav MICHAL est auteur principal d'un article dans une revue internationale avec comité de lecture, et auteur ou co-auteur d'un grand nombre de communications orales dont certaines dans des conférences internationales de bon niveau. Il s'agit d'une très bonne production scientifique. Je donne donc un avis très favorable à la soutenance en l'état des travaux de thèse de Monsieur Vratislav MICHAL.

*Fait à Talence le 17 mai 2009*

Pascal FOUILLAT, Professeur