

Capteur magnétique miniature et ultra-sensible pour les applications spatiales

Contact : Claire BARADUC DRF//INAC/SPINTEC claire.baraduc@cea.fr 0438784235

Stage pouvant se poursuivre en thèse : Oui

Résumé :

L'objectif est de développer un magnétomètre miniature et ultra-sensible (100 fT/√Hz), en utilisant des jonctions tunnel magnétiques et les techniques de microfabrication issues de la microélectronique. Ce magnétomètre pourrait remplacer les magnétomètres utilisés actuellement sur les missions spatiales avec un allègement de masse d'un facteur 100. Cette extrême légèreté (~1 g hors électronique) représenterait un avantage compétitif décisif par rapport aux capteurs inductifs utilisés actuellement lors de missions spatiales (masse > 1 kg).

Le magnétomètre proposé combine une jonction tunnel magnétique comme élément sensible du capteur, un concentrateur de flux pour amplifier le champ à mesurer et un système de modulation du champ magnétique pour réduire le bruit de la mesure. Des études préparatoires ont permis de montrer la faisabilité des briques de base de ce capteur. Il s'agit maintenant d'optimiser le concentrateur de flux et la jonction tunnel magnétique, en particulier en développant une jonction innovante faisant actuellement l'objet d'un dépôt de brevet. Une compréhension fine de la physique sous-jacente est maintenant nécessaire pour optimiser la sensibilité de la jonction tunnel magnétique : le choix des matériaux et de la géométrie (taille, forme, épaisseur) va résulter d'un compromis entre l'augmentation de la sensibilité et la nécessité de conserver une aimantation uniforme dans la couche magnétique.

Le travail de thèse sera majoritairement expérimental (microfabrication, caractérisation électrique et magnétique, mesures de bruit, imagerie magnétique) mais inclura également de l'analyse et des simulations micromagnétiques.

Sujet détaillé :

L'objectif est de développer un magnétomètre miniature et ultra-sensible utilisant des jonctions tunnel magnétiques et des techniques de microfabrication dérivées de la microélectronique. Ce magnétomètre, s'il atteint les performances attendues (détection de 100 fT / √Hz), pourrait remplacer les magnétomètres actuellement utilisés sur les missions spatiales, en gagnant un allègement de masse d'un facteur 100. Le dispositif (sans l'électronique) est fabriqué sur un substrat de silicium de 10x4mm² et pèse environ 1 gramme. Ces caractéristiques sont un atout considérable si l'on compare aux capteurs magnétiques inductifs utilisés actuellement dans les missions spatiales et dont la grande sensibilité est atteinte au prix d'un encombrement et d'une masse importants (1 à 2,5 kg). Le magnétomètre proposé est le résultat d'un travail mené dans le cadre d'un partenariat de longue date entre le laboratoire SPINTEC et le laboratoire spatial LPC2E (CNRS-Université d'Orléans). Le capteur combine une jonction tunnel magnétique comme élément sensible, un concentrateur de flux pour amplifier le champ à mesurer et un système de modulation de champ magnétique pour réduire le bruit de la mesure. Les projections basées sur les résultats déjà obtenus suggèrent qu'une détection de 1 pT / √Hz à 100 fT / √Hz pourrait être obtenue dans la bande DC-10 kHz, si la jonction tunnel magnétique et le concentrateur de flux sont optimisés. Des progrès significatifs pourraient être réalisés grâce à la recherche sur les matériaux et à une étude approfondie des propriétés magnétiques. Notre objectif est de développer une jonction tunnel magnétique avec une sensibilité élevée et un faible bruit. Pour cela, nous allons tester un concept de jonction innovante, qui fait actuellement l'objet d'une demande de brevet commun entre LPC2E et Spintec. Dans un premier temps, nous essaierons d'optimiser les matériaux et la forme de la jonction afin d'obtenir une rotation cohérente de l'aimantation en champ faible: cela implique de combiner la modélisation analytique, des simulations numériques et des tests expérimentaux afin de déterminer les meilleurs paramètres. Ces tests nécessiteront le dépôt de multicouches, la microfabrication en salle blanche et les mesures de caractérisation électrique. Pour analyser le comportement magnétique de l'échantillon à l'échelle locale, nous allons imager l'échantillon en utilisant la microscopie à force magnétique (MFM) ou la microscopie à effet Kerr. Dans un deuxième temps, nous réduirons le bruit des jonctions obtenues en augmentant le volume magnétique. Cela peut être réalisé

soit en augmentant la taille de la jonction (à condition que l'uniformité magnétique ne soit pas dégradée), soit en connectant les jonctions dans un circuit série / parallèle. Cependant, la contrainte d'espace due à l'entrefer du concentrateur de flux empêchera d'utiliser un grand nombre de jonctions. La meilleure forme de jonction et le meilleur compromis entre le nombre de jonctions et la taille de l'entrefer seront recherchés par modélisation, l'entrefer étant approximativement inversement proportionnel au gain du concentrateur. Les travaux de recherche proposés seront principalement menés au laboratoire SPINTEC et dans la PTA (salle blanche dans le même bâtiment) et porteront sur le dépôt de couches minces magnétiques, la microfabrication, les mesures électriques et magnétiques et les simulations numériques. Outre l'optimisation des jonctions, un effort spécifique sera consacré à l'amélioration de la fiabilité de quelques étapes technologiques critiques du processus complexe de microfabrication (8 niveaux de masques et environ 50 étapes de processus).

Compétences requises :

physique du solide