

Détecteur hétérodyne submillimétrique à supraconducteur : Réalisation d'un récepteur (480-640 GHz) pour l'observatoire spatial Herschel

Y. Delorme_{c9} M.Salez_{c9}*, B.Lecomte_{c9}*, I. Péron_{c9}*, F. Dauplay_{c9}* J. Spatazza_{c9}**,
A. Féret_{c9}*, K. Schuster_{c9}***, G. Beaudin_{c9}**

**Observatoire de Paris, LERMA, 61, Av de l'Observatoire, 75014 Paris
yan.delorme@obspm.fr, morvan.salez@obspm.fr, benoit.lecomte@obspm.fr*

*** INSU, Division Technique, Meudon
spatazza@dt.insu.cnrs.fr*

**** IRAM, 300 avenue de la piscine, 38406 St-Martin d'Hères
schuster@iram.fr*

Résumé

Dans le domaine de la détection hétérodyne submillimétrique (300 GHz – 3 THz), le récepteur à supraconducteur reste aujourd'hui le plus sensible. Deux types de détecteurs sont utilisés : jonction à effet tunnel (SIS) et bolomètre à électrons chauds (HEB). Le développement de ces récepteurs impose de prendre en compte des particularités liées à l'utilisation des matériaux à supraconducteur dans le domaine de fréquences très élevées. Nous allons présenter, à travers le développement d'un récepteur SIS du projet spatial HERSCHEL-HIFI canal 1 (480-640 GHz), les outils et les moyens utilisés pour la conception, la réalisation et la caractérisation de ces dispositifs ainsi que les performances obtenues.

Mots clés : hétérodyne, submillimétrique, supraconducteur.

Introduction

Durant les deux dernières décennies, l'astronomie millimétrique et submillimétrique a énormément bénéficié le développement de détecteurs à supraconducteur. Selon les lois fondamentales de la physique, les détecteurs à supraconducteur peuvent fournir une performance en bruit proche de la limite quantique.

Dans le cadre du projet HERSCHEL de l'ESA, un observatoire spatial dans le domaine infrarouge lointain et submillimétrique, nous avons développé un système de détection hétérodyne à partir d'un mélangeur SIS sans accord mécanique et couvrant la bande de fréquence entre 480 et 640GHz pour le canal 1 de l'instrument hétérodyne (HIFI) de HERSCHEL. Plusieurs concepts innovants ont été explorés pendant le développement de ce récepteur dont les performances attendues n'ont jamais encore été obtenues.

1. Principe des détecteurs hétérodynes à supraconducteurs

La sensibilité d'un détecteur hétérodyne est essentiellement fixée par le choix de la technologie du composant mélangeur qui sont des jonctions à semiconducteur, à supraconducteur ou très récemment des bolomètres à supraconducteur à électrons chauds. Actuellement, les récepteurs à supraconducteur sont les seuls qui permettent d'obtenir un bruit très proche du bruit quantique.

1.1 Jonction à supraconducteur et à effet tunnel SIS

Une jonction SIS se compose de 2 électrodes supraconductrices (Niobium, Nitrure de Niobium ou NbTiN) séparées par une mince barrière isolante de quelques dizaines d'Angstrom d'épaisseur. Les

récepteurs SIS montrent des caractéristiques très performantes jusqu'à environ 1THz. Au delà, la montée en fréquence est limitée d'un côté par le gap d'énergie des matériaux et de l'autre part par l'effet capacitif de la jonction.

1.2 Bolomètre à supraconducteur à électrons chauds : HEB

Un bolomètre à électrons chauds se compose d'un micro pont à supraconducteur. L'échauffement des électrons du à l'absorption d'une onde incidente modifie la résistance électrique du film et permet ainsi la détection. Ce mécanisme permet une détection sans limite de fréquence avec une très large bande passante et une conception plus simple.

2. Développement de la chaîne de détection SIS pour l'observatoire HERSCHEL-HIFI

2.1. Le projet Herschel

Le projet spatial HERSCHEL-HIFI mené par l'ESA sera le premier instrument spatial utilisant les récepteurs hétérodynes à supraconducteur. Il sera lancé en 2007 et fournira du point L2 les données sur l'univers "froid" avec une très haute résolution et une gamme de fréquence allant de 480 GHz à 1.9 THz. Le canal 1 consiste en un récepteur SIS sans accord mécanique, couvrant 480-640GHz et avec un bruit du récepteur inférieur à 3 fois le bruit quantique. Sa réalisation constitue un défi technologique dans le domaine des récepteurs hétérodynes.

2.2. Conception et réalisation

Pour la conception de ce dispositif, l'application des logiciels CAO commerciaux est limitée par la gamme de fréquence élevée et l'utilisation de matériaux supraconducteurs. Nous avons donc développé des programmes spécifiques combinant les théories de la physique des supraconducteurs, de la physique quantique et de la propagation électromagnétique. Ces outils nous permettent de simuler les performances et d'optimiser les géométries des cornets, des guides d'onde, des transitions guide-circuit planaire. Ils permettent aussi de prédire l'effet des tolérances de réalisation sur les résultats expérimentaux. Un modèle à grande échelle du mélangeur a été utilisé pour confirmer certains résultats des simulations.

La réalisation de ces dispositifs présente non seulement des difficultés au niveau de la technologie microélectronique mais aussi au niveau de la mécanique à cause de la miniaturisation de la structure. Pour répondre aux contraintes imposées par l'environnement spatial concernant la masse, les radiations et la résistance au chocs, des structures très compactes et efficaces ont été développées pour l'ensemble du bloc mélangeur, spécialement pour la bobine magnétique et le dispositif de chauffage intégré destinés à supprimer l'effet Josephson de la jonction SIS.

2.3 Performances

Les performances obtenues à travers les tests FTS, hétérodynes et les procédures de qualifications spatiales effectuées sur un modèle de démonstration et deux modèles de qualification ont permis de valider l'ensemble des ces nouveaux concepts. A ce jour, ces résultats sont à notre connaissance les meilleurs dans le domaine.

Conclusion

Plusieurs types de composants non linéaires peuvent être employés dans les récepteurs hétérodynes aujourd'hui développés dans le domaine submillimétrique. Les mélangeurs à semiconducteur sont bien adaptés pour travailler à température ambiante, mais les mélangeurs à base de supraconducteur permettent d'obtenir les meilleurs sensibilités et de travailler dans des gammes de fréquences plus élevées.

Nous avons développé un système de détection hétérodyne dans la bande de fréquence entre 480GHz et 640GHz pour l'observatoire spatial HERSCHEL. Les performances obtenues sont au plus haut niveau international en terme de bruit et de largeur de bande passante instantanée.