



Microsystèmes
Imageries
Nanosciences
Enseignement
Recherche
Valorisation
Entreprises

Cette lettre est l'occasion de vous tenir informé(e) régulièrement de l'avancée des projets de la Centrale de Technologie Universitaire. N'hésitez pas à consulter notre site WEB www.ief.u-psud.fr. Vous y trouverez la liste des principaux équipements de la plate-forme, les conditions d'accès, les archives de l'aCTU. Vous pourrez également effectuer une visite panoramique de la Centrale.

Composants micro-onde pour l'étude du fond diffus cosmologique

Adnan Ghribi¹, Benoit Bélier², Faouzi Boussaha³, Eric Bréelle¹, Frédérique Gadot², Michel Piat¹

¹APC, Université Paris Diderot

²IEF, Université Paris Sud 11

³LERMA, Observatoire de Paris

Dans ce
numéro :

♦ Composants micro-onde
pour l'étude du fond
diffus cosmologique

♦ Plate-forme de
caractérisation
mécanique et thermique
des films

♦ Stages de formation
permanente

♦ Informations pratiques

I - Introduction

En 1964, deux ingénieurs de Bell Instruments détectent, grâce à une antenne destinée à la télécommunication satellite, un bruit constant et isotrope qu'ils ne parviennent pas à expliquer. Ce signal prend tout son sens quand des astrophysiciens de Princeton s'y intéressent : il s'agit là de la première détection du rayonnement fossile ; une preuve directe de la théorie du Big-Bang. Cette théorie explique l'histoire thermique de l'univers et la formation des structures. D'après cette théorie, 400 000 ans après la singularité initiale (avant cette singularité, le temps et l'espace n'existaient pas), un rayonnement thermique fut émis. Ce rayonnement, aujourd'hui refroidi à 2,7K, s'est décalé dans les micro-ondes. On ne connaît pas aujourd'hui de meilleur corps noir que ce rayonnement. Cette découverte majeure a été un véritable catalyseur pour la cosmologie observationnelle. Des instruments sols et satellites de plus en plus précis ont été développés pour répondre aux besoins de cette nouvelle science. Aujourd'hui, ce fond diffus cosmologique est relativement bien connu. Il apparaît aussi que ce rayonnement est polarisé. Les deux polarisations du CMB sont conventionnellement notées modes E et modes B. Les modes E ont déjà été détectés et constituent une preuve de plus pour la théorie du Big-Bang. Les modes B, quant à eux, n'ont jamais été observés, mais leur détection permettrait de prouver l'existence des ondes gravitationnelles primordiales prédites par la relativité générale d'Einstein. Ces modes B sont très difficiles à détecter car il faudrait être capable de mesurer des fluctuations de température inférieures à 300nK. Outre les architectures de détection spécifiques, les détecteurs et composants micro-ondes sont aujourd'hui la clé du succès. En France, deux collaborations se sont penchées sur ce problème : la collaboration DCMB (Développement Concerté de Matrices de Bolomètres) et la collaboration BSD (B-mode Superconducting Devices). Le rôle de l'IEF est primordial dans le développement des technologies planaires liées à ces deux collaborations.

II - Architectures de détection et composants planaires

Plusieurs architectures de détection existent et correspondent à différentes stratégies d'observation. Parmi elles, on trouve les imageurs, les interféromètres hétérodynes et les interféromètres bolométriques. Ces différentes architectures sensibles à la polarisation présentent en commun la présence de plusieurs composants. Des antennes adaptent d'abord l'impédance de l'air libre à celle de la structure guidée qui transmet le signal aux détecteurs. Entre les antennes et les détecteurs, des filtres permettent de sélectionner la bande passante et des diplexeurs de polarisation, aussi appelés OMT (Orthogonal Mode Transducer), permettent d'extraire les deux polarisations linéaires de l'onde incidente et des déphaseurs contrôlables permettent de moduler le signal.

Afin d'atteindre les sensibilités requises, l'utilisation de matrices de détecteurs est inévitable. D'autre part les composants doivent être refroidis à basse température afin de réduire les effets systématiques instrumentaux. Les composants planaires offrent l'avantage de la compacité. De plus, quand ils sont réalisés à partir de matériaux supraconducteurs, ils permettent d'atteindre de très bonnes performances.

III - Transition guide d'onde micro-ruban

Les meilleures antennes utilisées aujourd'hui sont des antennes cornets. Elles permettent d'adapter l'impédance de l'air à celle de guides d'onde. Si nous voulons travailler avec des technologies planaires, il est nécessaire d'étudier les transitions « *guide d'onde - planaire* ».

La ligne micro-ruban est une ligne de transmission planaire dans laquelle un seul mode se propage (TEM) et qui n'a pas de fréquence de coupure intrinsèque au mode de propagation. De plus, si elle est faite de

Pour plus
d'informations sur
l'aCTU contactez :
Benoit.belier@ief.u-
psud.fr

supraconducteurs, elle présente des pertes très faibles. Elle est, à ce titre, très intéressante. L'onde se propage entre un ruban métallique et un plan de masse métallique de part et d'autre d'un substrat diélectrique. Le but ici est de réaliser une transition guide d'onde micro-ruban qui soit large bande dans la bande W (75-110 GHz). Le guide d'onde est rectangulaire WR10 en cuivre et l'antenne qui réalise l'adaptation d'impédance du guide d'onde à la ligne micro-ruban est radiale en Niobium et suspendue sur membrane. Cette transition est aussi utilisée pour la caractérisation de composants planaires à partir d'un guide d'onde rectangulaire et à l'aide d'un analyseur vectoriel. Le composant est alors placé entre deux transitions micro-ruban (Voir figure 1). Une structure similaire permet d'effectuer une calibration propre. Cette structure peut être placée à basse température afin de caractériser les composants supraconducteurs.

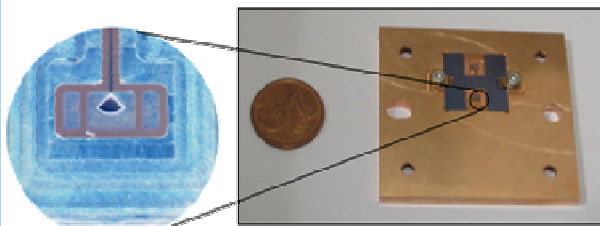


Figure 1 : Transition guide d'onde micro-ruban et la structure de test associée

La figure 2 montre les résultats préliminaires de la mesure des performances de la transition comparée aux simulations électromagnétiques CST Microwave Studio.

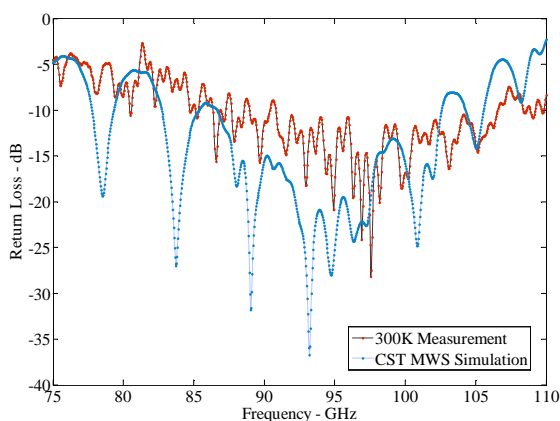


Figure 2 : Transition guide d'onde, micro-ruban. Mesures des pertes en réflexion à 300K comparée aux simulations électromagnétiques

IV - Diplexeurs de polarisation (OMT)

Les OMT sont très importants pour les instruments sensibles de polarisation. Ils permettent de séparer les deux polarisations linéaires de l'onde incidente. Ils doivent avoir de faibles pertes et une faible polarisation croisée (cross-polarization). Celle-ci correspond à la contamination entre les deux polarisations linéaires lors de leur séparation.

Plusieurs technologies existent :

- OMT guides d'onde : ce sont les plus utilisés et les mieux maîtrisés.
- OMT Finline : ils sont basés sur une transition guide d'onde planaire particulière (Finline) et sont moins utilisés et moins étudiés.

- OMT Planaires : il s'agit ici d'antennes planaires sensibles à la polarisation insérées dans un guide d'onde. Ils ont été étudiés dès le début des années 1990 mais, ce n'est qu'avec les avancées liées aux techniques de simulation électromagnétique et aux technologies de dépôt de couche mince, qu'ils ont pris de l'importance.

Nous nous intéressons ici à des OMT planaires. 4 antennes radiales insérées dans un guide d'onde carré extraient deux polarisations linéaires ; chaque couple d'antenne face-à-face permettant d'extraire une polarisation avec un déphasage de 180°. Notons que, dans notre cas, les antennes planaires sont suspendues sur membrane. Le signal passe ensuite à travers un labyrinthe. En pratique, le labyrinthe permet de faire une isolation électromagnétique entre le guide d'onde et le substrat. L'autre rôle est l'adaptation d'impédance de l'antenne au micro-ruban qui passe par une ligne de transmission appelée « *Shielded microstrip* » (un micro-ruban dans une enceinte métallique).

La figure 3 montre la structure de test faite d'un OMT planaires (port d'entrée guide d'onde carré) et de quatre transitions micro-ruban guide d'onde (4 ports de sortie guides d'onde rectangulaires WR10). La figure 4 montre les performances simulées de l'OMT planaire.

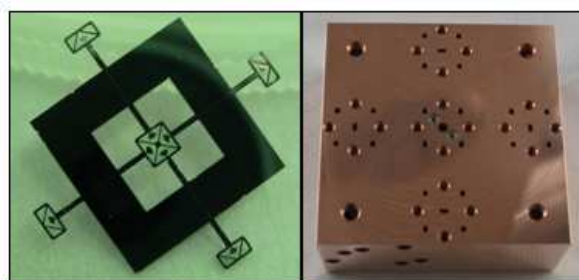


Figure 3 : Structure de test des OMT planaires. On voit l'OMT ainsi que les quatre transitions sur la photo de gauche. Cette structure planaire (droite) s'insère dans une structure métallique (gauche) qui permet de la caractériser à 4K et dans la bande W

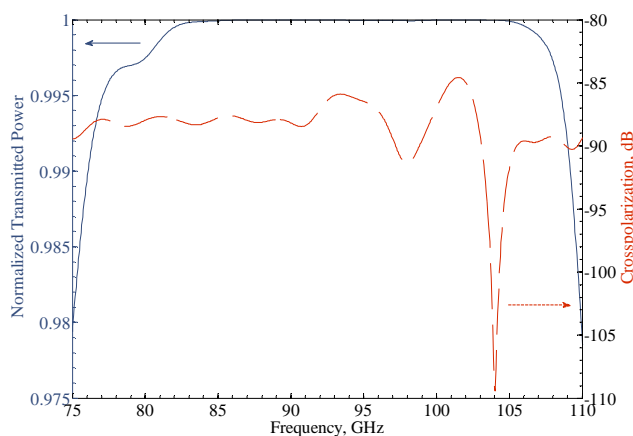


Figure 4 : Simulation électromagnétique CST MWS des performances de l'OMT

V - Procédure de fabrication

Afin de réaliser les dispositifs planaires suspendus sur membrane, une procédure a été développée à l'Institut d'Electronique Fondamentale (voir figure 5). Nous utilisons des substrats de Silicium sur lesquels est déposé $1\mu\text{m}$ de $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2$ par PECVD (Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition) avec un mélange $\text{SiH}_4/\text{N}_2\text{O}$ et SiH_4/NH_3 . Nous déposons ensuite sur les deux côtés du substrat 400nm de Niobium. En face avant, la gravure RIE (Reactive Ion Etching) permet de structurer la membrane et les antennes. La gravure DRIE (Deep Reactive Ion Etching) permet, elle, de graver entièrement le Silicium afin que les antennes soient suspendues sur membrane.

VI - Conclusion

La technologie planaire supraconductrice et les matrices de détecteurs bolométriques constituent l'avenir de la cosmologie observationnelle, que ce soit pour les instruments sols ou satellites. Grâce aux efforts conjoints de différents laboratoires français tant sur la conception que sur les processus technologiques, nous pouvons aujourd'hui suivre ce mouvement enclenché, il y a plus de 40 ans, par Penzias et Wilson.

Pour plus
d'informations
contactez :
frederique.gadot@ief-psud.fr

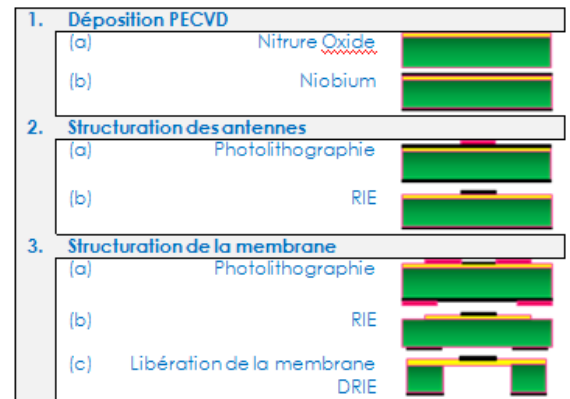


Figure 5: Procédure de fabrication des dispositifs planaires suspendus sur membrane

Plateforme de caractérisation mécanique et thermique des films et des MEMS/NEMS

Alain Bosseboeuf, Willy Daney de Marcillac, Jean-Luc Perrossier
 Institut d'Electronique Fondamentale, UMR CNRS 8622, Université Paris-Sud 11, 91405 Orsay, France

Les contraintes mécaniques résiduelles dans les films minces ont une influence importante sur les procédés de micro-nano fabrication. Elles affectent par exemple les cinétiques d'oxydation, de diffusion et de gravure des films ou des substrats, ont une influence majeure sur l'intégrité et l'adhérence des films et peuvent être à l'origine de la génération de défauts dans les substrats semiconducteurs lors des recuits. Elles induisent une déformation des wafers qui peut altérer les étapes de lithographie et de soudure de wafers. Dans les dispositifs, elles ont, selon le cas, une influence recherchée ou néfaste sur le transport électronique (piezorésistivité, augmentation de la mobilité) et thermique, sur les propriétés optiques des semiconducteurs et sur les propriétés magnétiques des films. Enfin, le contrôle des contraintes mécaniques, et plus généralement de l'ensemble des propriétés mécaniques (constantes élastiques, ruptures), est très critique pour les micro-nanostructures. En effet les propriétés mécaniques déterminent leurs déformations, leur comportement dynamique (vibrations) et leur tenue.

Les propriétés mécaniques des films minces et des micro-nano structures diffèrent largement de celles des matériaux massifs et sont très dépendantes des procédés d'élaboration, des recuits, de leurs dimensions, etc...

Le même constat peut être fait pour les propriétés et le comportement thermique des films et des micro-nano structures.

Des caractérisations mécaniques et thermiques des films et des micro-nano structures sont donc soit souhaitables, soit nécessaires, lors de chaque développement de procédés technologiques ou de dispositifs. Dans le cas des micro-nano systèmes (opto) électromécaniques (M(O)EMS -NEMS), il est en outre nécessaire de caractériser les dimensions et le mouvement des micro-nano structures, leur actionnement et leurs caractéristiques électro-opto-thermo-mécaniques.

Grâce à un soutien de différents organismes et collectivités comme le Conseil Général de l'Essonne, la Région Ile de France, le Ministère de la recherche, l'ANR, le CNRS, l'Université Paris Sud 11 et les réseaux RTB et Optics Valley, et aussi grâce à un partenariat établi depuis 10 ans avec la société de métrologie Fogale Nanotech, la Centrale de Technologie Universitaire (CTU) IEF-MINERVE et le département Micro et Nano Systèmes (MiNaSys) de l'IEF ont acquis une quinzaine d'équipements récents de caractérisation mécanique et thermique des films, et des MEMS/NEMS. Parmi eux on peut trouver : profilomètres et vibromètres, microscopes UV profond, visible, NIR et infrarouge, système de microthermographie, test (micro)mécaniques (bulge test, test jauge piezorésistive, microrayure, pull test, contraintes mécaniques), station de mesure sous pointe électro-thermo-mécanique, spectromètres FTIR (cartographie et microscopie) et différentes enceintes de mesure en fonction de la pression, de signaux électriques et de la température.



Figure 1 : Vue générale de la plate-forme

Ces équipements, d'une valeur d'environ 1,5M€ HT, ont été mutualisés en plate-forme ouverte et installés dans une nouvelle salle blanche de 100m² (figure 1). Les caractéristiques de cette salle blanche (classe 10000, régulation thermique à +/-2°C, éclairage inactinique) ont été choisies pour permettre des mesures en cours de procédé.

Les équipements de cette plateforme sont accessibles, après réservation, aux utilisateurs internes et externes, académiques ou industriels, avec l'aide des personnels de la CTU et du département MiNaSys, ou après formation.

Dans l'avenir nous espérons développer/acquérir et mettre à disposition des équipements complémentaires : nano-indenteur, thermoréflexance, AFM mécanique et thermique, autres équipements de caractérisation des défauts, de l'adhérence et de l'herméticité de scellement de wafers ou de puces, profilomètre-vibromètre-spectromètre multibandes spectrales, etc.

Nouveau stage

MISE EN OEUVRE EXPERIMENTALE ET OPTIMISATION DE PROCEDES DE LITHOGRAPHIE : APPLICATION AUX OBJETS SUBMICRONIQUES

3 jours
Du 11 au 13 octobre 2010

Public : Techniciens, ingénieurs,
Chercheurs

Lieu : CTU-IEF-MINERVE

Coût : 1 000 €

Intervenants : A. AASSIME,
D. BOUVILLE,
S. DAVID,
F. HAMOUDA,
J. PALOMO

Responsable et animateur :
Sylvain DAVID - IEF
Tél. : 01 69 15 35 76

Secrétariat : tél. : 01 69 15 76 34

PROGRAMME

La lithographie est une étape décisive dans les procédés de micro et nano-fabrication. Les procédés de conception technologiques font essentiellement appel à des techniques de lithographie optique et électronique. Parallèlement, d'autres modes de lithographie comme la nano-impression ont été développés pour leur fort rendement, leur faible coût de fabrication, et leur résolution proche de la lithographie électronique.

Au cours de ce stage, ces trois techniques de lithographie seront présentées et mises en œuvre pour réaliser des objets submicroniques :

La lithographie optique (UV/DeepUV) par contact.

La lithographie électronique.

La nano-impression molle assistée UV (SOFT UV-NIL).

En dernier lieu, nous procéderons au transfert dans des substrats ou en couche mince de ces motifs lithographiés par des techniques de gravure plasma et dépôt métallique.

Ces échantillons seront caractérisés par microscopie électronique à balayage.

Ce stage s'appuiera sur l'expérience de praticiens en micro et nano-technologie. Lors des travaux pratiques, les stagiaires pourront visualiser expérimentalement différentes configurations montrant les avantages et les limites physiques et instrumentales de chacune de ces techniques. Le contenu pédagogique tournera essentiellement autour :

- 1- des problèmes de diffraction pour la lithographie optique,
- 2- des problèmes d'effet de proximité, effet de charges et dépôt de dose pour la lithographie électronique,
- 3- des problèmes liés aux effets d'adhésion entre moule et polymère, à l'uniformité de l'épaisseur résiduelle de la résine lors de l'impression, et au transfert des motifs pour la nano-impression. Des solutions seront également proposées pour contourner les limites de chacune de ces techniques.

Objectifs :

- 1- Pratiquer des méthodes de lithographie électronique, optique et par UV-NIL
- 2- Permettre aux stagiaires de cerner les avantages et limites de chaque technique, et de mieux appréhender leur futur développement technologique.

Dates du prochain stage :

Physique des semi-conducteurs

Du 31 mai au 4 juin 2010

Pour plus
d'informations
contactez :
annie.roy@ief.u-psud.fr

Informations pratiques

La CTU IEF-MINERVE se situe dans le département de l'Essonne, à l'Université Paris-Sud 11, Bâtiment 220, 91405 ORSAY Cedex

Responsable de la CTU : **Daniel BOUCHIER**

Responsable de l'accueil : **Véronique MATHET** (veronique.mathet@ief.u-psud.fr)

Responsable de l'aCTU : **Benoit BELIER** (benoit.belier@ief.u-psud.fr)

Secrétariat : **Annie ROY** (annie.roy@ief.u-psud.fr)

Mise en page :
Annie ROY