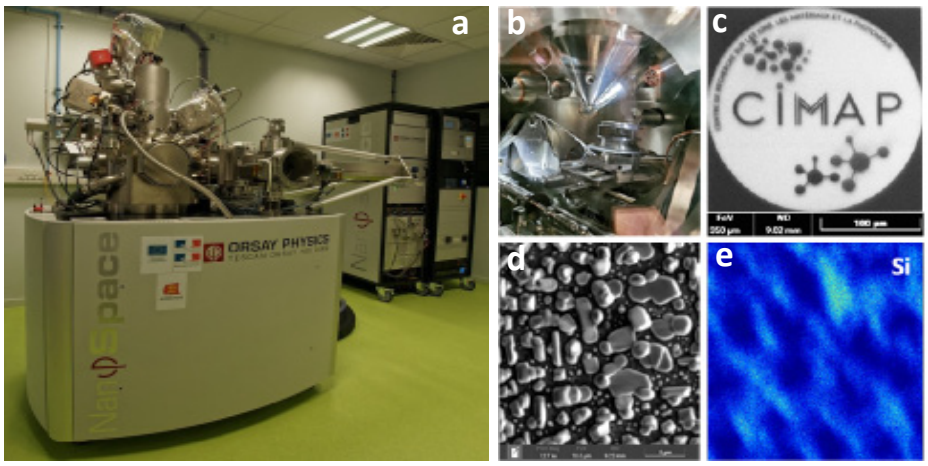
323 - Janvier 2023

BRÈVES DE L'IRAMIS

La NanoSpace : gravure, imagerie et analyse chimique à l'échelle nanométrique avec un unique équipement

Fabrice Gourbilleau : tél : 02.31.45.26.74, fabrice.gourbilleau@ensicaen.fr

Le CIMAP vient d'acquérir un équipement couplant l'imagerie de microscopie électronique à balayage (MEB) avec une colonne ionique focalisée plasma (FIB), pour la gravure, et un spectromètre de masse des ions secondaires par temps de vol (TOF-SIMS). Cet appareil, la NanoSpace, développé par la Société Orsay Physics basée à Fuveau (Bouches du Rhône), a été cofinancé par la région Normandie, les Fonds Européens de Développement Régional et le Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation. La Nanospace est un outil très performant qui permet d'amener des précisions à l'échelle submicronique sur la composition chimique de films ou de matériaux massifs (organiques, inorganiques, minéraux, métaux, semi-conducteurs, isolants) et donc de comprendre des phénomènes ou des propriétés physico-chimiques auxquels il était difficile d'accéder simplement avec les techniques habituelles. En effet, cet appareil, unique au monde, permet dans un environnement UHV d'obtenir une résolution inférieure à 4 nm en MEB et une résolution de 12 nm en FIB avec une vitesse d'abrasion 50 fois plus rapide qu'avec une source Gallium. En ce qui concerne le TOF-SIMS, la résolution en masse est de 4500 sur le ^{28}Si, et la résolution en imagerie est inférieure à 60 nm, sur un domaine en masse de 0 à 500u. La NanoSpace, grâce à la possibilité de réaliser des images corrélatives SEM/SIMS voire SEM/EDX/SIMS, puisqu'il peut aussi accueillir un spectromètre EDX-UHV, ouvre la voie à des analyses fines de phénomènes diffusionnels dans des matériaux soumis à différentes contraintes (températures élevées ou irradiation par exemple), à des études sur le rôle des impuretés dans la croissance et la cristallisation in situ de films d'oxydes ou de semi-conducteurs.

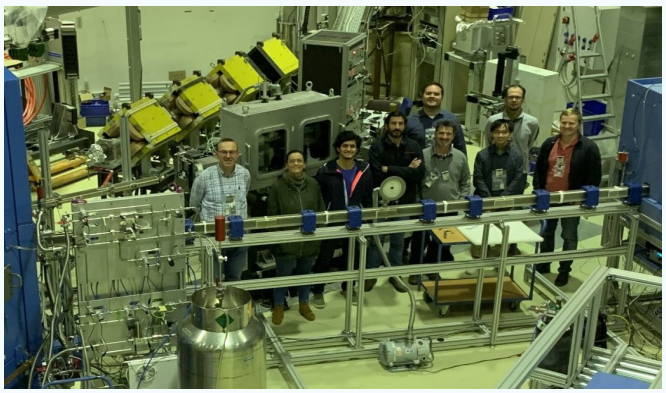


La NanoSpace (a) et ses trois colonnes (b) : un MEB, une FIB et un TOF-SIMS ; (c) Image du logo du CIMAP gravé avec la source FIB ; (d) Microstructure d'une surface constituée de grains d'oxyde facettés observée en MEB ; (e) Imagerie SIMS de zones enrichies en Si.

Brèves des labos

Afin d'acquérir plus d'expérience dans l'utilisation d'une source de neutrons de haute intensité pilotée par accélérateur compact (HiCANS), le LLB a transféré son réflectomètre HERMES à l'installation BigKarl de JCNS (Jülich). BigKarl est un modèle de faible puissance du projet de «High Brilliance Source» du Jülich Centre for Neutron Science (JCNS), en Allemagne. Ce transfert se place dans le cadre de l'accord de collaboration de recherche avec le Centre de Jülich (2015) sur l'étude de la matière condensée molle et dure, le développement de l'instrumentation neutronique (ESS), ainsi que la préparation et planification d'une nouvelle génération de sources compactes de neutrons.

Le 12 décembre 2022, l'installation a produit ses premiers neutrons et un spectre de neutrons en temps de vol a pu être enregistré. Obtenir en si peu de temps une 1ère mesure de faisabilité sur ce type de source de faible intensité représente un succès collectif pour les équipes.



L'équipe franco allemande devant le réflectomètre Hermes au JCNS

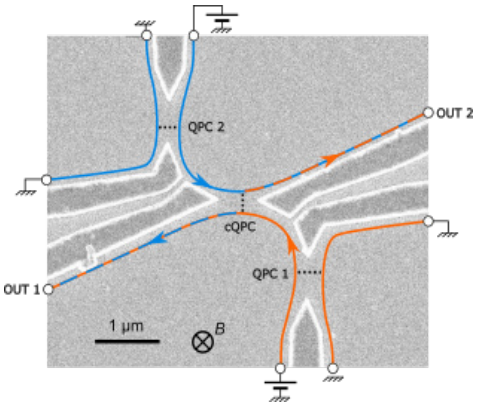
Après des études effectuées à Grenoble-INP Phelma et l'Université Grenoble Alpes (UGA), Olivier Maillet obtient en 2018 un doctorat en physique de la matière condensée à l'UGA (CNRS-Institut Néel). Après deux post-doctorats à l'Université Aalto (Helsinki, Finlande), puis au CNRS-C2N à Palaiseau, il est recruté au SPEC en mai 2022 au sein de l'équipe GNE, où il développe ses activités autour de la thermodynamique des systèmes quantiques mésoscopiques et de la simulation quantique d'états fortement corrélés de la matière. Les résultats présentés ci-dessous ont été obtenus dans le cadre de son post-doc au C2N, dans l'équipe Phynano, sous la supervision de A. Anthore et F. Pierre.

Olivier Maillet : tél : 01.69.08.72.16, olivier.maillet@cea.fr

Statistique anyonique et réflexion d'Andreev dans les états de bord de l'effet Hall quantique fractionnaire

Les anyons sont des particules de statistique quantique ni bosonique ni fermionique : doublement permutées, à partir d'un état initial de deux anyons, les positions de ceux-ci ne permettent pas de retrouver le système dans l'état initial, offrant des possibilités intéressantes pour l'information quantique. Ces anyons ont été prédits au sein de l'effet Hall quantique fractionnaire (FQHE), dans lequel un courant électrique circule sur les bords de l'échantillon tandis que son cœur reste isolant. Cet état quantique à fortes corrélations, obtenu dans un gaz bidimensionnel d'électrons d'une hétérostructure semiconductrice sous champ magnétique intense (~10 T) à très basse température (< 100 mK), abrite des quasiparticules possédant une fraction de la charge électrique élémentaire, ainsi qu'une statistique anyonique. Alors qu'une charge fractionnaire e/3 avait été mesurée en 1997, il a fallu attendre 2020 pour valider expérimentalement la statistique anyonique associée. En utilisant un dispositif de mesure ultra-sensible des fluctuations de courant électrique créées dans les bords du FQHE par des contacts ponctuels quantiques, nous avons pu reproduire les résultats pionniers.

Nous avons ensuite étendu l'étude à un autre état FQHE plus complexe, dans lequel nous avons mesuré une statistique anyonique pour des charges e/5. Enfin, nous avons exploré un régime dans lequel les anyons rencontrent une barrière tunnel opaque. De façon inattendue, ils parviennent à franchir la barrière, sous la forme d'un électron de charge entière, laissant derrière un "trou", c'est-à-dire un défaut de charge –2e/3. C'est en mesurant la corrélation entre les fluctuations des courants portés par ces deux types de charges que nous avons pu établir clairement ce mécanisme, baptisé "réflexion d'Andreev" par analogie avec le transfert de charge à l'interface métal/supraconducteur.



Micrographie de l'échantillon : des courants sont injectés dans le gaz 2D d'électrons (enterré 100 nm sous la surface), par deux bords définis par effet de champ en appliquant des tensions négatives sur des grilles électrostatiques. Chaque faisceau de courant est partiellement réfléchi par des contacts ponctuels quantiques (QPC 1 et 2), également définis par effet de champ. Cette partition des courants crée des quasiparticules, lesquelles se propagent ensuite jusqu'au QPC central (cQPC) qui "imprime" des corrélations entre les fluctuations des courants dans les deux voies repartant de cQPC. Ces corrélations s'annulent si les quasiparticules sont fermioniques, et sont négatives si elles sont anyoniques.

Directeur de la publication : F. Daviaud - Comité de rédaction : M. Soyer, G. de Loubens - Réalisation : C. Becquet