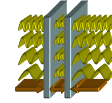


Objectifs du projet

- Compréhension et modélisation des phénomènes physiques intervenants à l'échelle nanométrique
 - Développement de modèles simplifiés pour la simulation des phénomènes physiques à l'échelle submicronique
 - Etude de l'effet Casimir et des transferts radiatifs en champ proche dans des cas réels (conductivité du matériau, rugosité, géométrie)
- Mesure et quantification de ces phénomènes
 - Mise au point de méthodes expérimentales originales et d'outils de caractérisations très sensibles
 - Fabrication de structures de tests spécifiques
- Mise au point de logiciels d'aide à la conception spécifiques aux nano structures mécaniques



Modélisation de la force de Casimir

Publications récentes:
 A. Lambrecht and V. Marachevski, Phys. Rev. Lett. à paraître on-line le 23 octobre 2008
 B. A. Lambrecht, Nature 454, 836 (2008)

La force de Casimir entre deux surfaces planes est bien connue

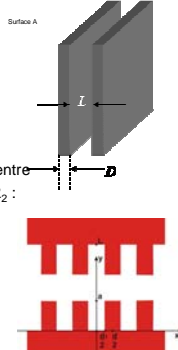
$$F_{Cas} = \frac{\hbar c \pi^2}{240 L^4} A$$

Formulation générale de l'énergie de casimir

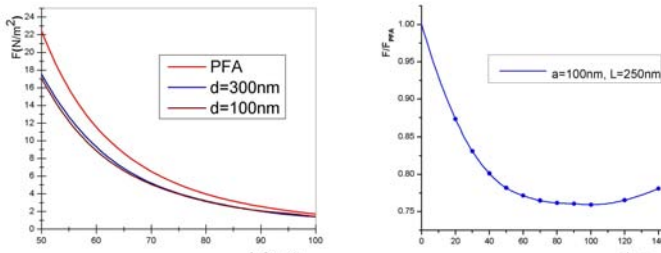
Développement d'une formulation générale de l'énergie de Casimir E entre deux surfaces arbitraires décrites par de matrices de réflexions R_1 et R_2 :

$$E = \hbar \int_0^\infty \frac{d\xi}{2\pi} \text{Tr} \ln(1 - R_1(i\xi) e^{-\kappa L} R_2(i\xi) e^{-\kappa L})$$

$$Tr = \int_0^\infty \frac{d^2 k}{(2\pi)^2} \sum_\rho \text{avec } \text{diag}(\mathbf{K}) = \kappa = \sqrt{k^2 + \xi^2}$$

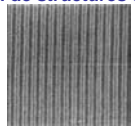


Force de Casimir entre deux surfaces de Si nanostructurées



L'approximation de proximité (PFA) qui consiste à sommer indépendamment les contributions des éléments de surfaces différentes ne fonctionne plus pour ces structures

Fabrication de structures de tests pour la mesure de la force de casimir



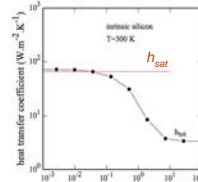
Fabrication d'une surface nanostructurée de 100x100µm² avec des lignes de 50nm au pas de 100nm sur une épaisseur de 100nm

Photolithographie hybride e-beam/DUV

Transferts thermiques en champ proche

E. Rousseau, J.J. Greffet, M. Laroche, S. Volz Ecole Centrale Paris- EM2C

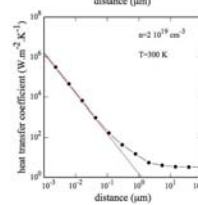
Modélisation: expressions asymptotiques pour deux plans de silicium



Dopage inférieur à 10¹⁶ cm⁻³: le flux sature à courte distance. Avec une erreur inférieure à 10%, il est égal à la saturation pour des distances inférieures à 250 nm. La valeur de la saturation est obtenue en modifiant la loi de Stefan-Boltzmann:

$$h_{sat} = 4\sigma(\epsilon - 1)T^3$$

Où σ est la constante de Stefan et ϵ la valeur de la constante diélectrique dans l'IR ($\epsilon=11.7$).

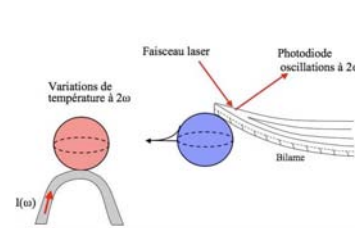


Dopage compris entre 10¹⁸ et 10²⁰ cm⁻³: à courte distance, le flux est dominé par la contribution du plasmon-polariton (oscillation collective des électrons, mode résonant). Avec une précision de 10%, il est donné, pour des distances inférieures à 250 nm, par:

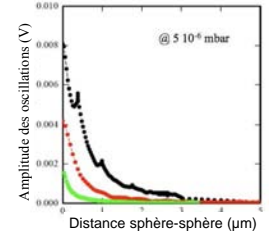
$$h(d) = \frac{k_p \Gamma}{8 \pi d^2 \epsilon_n + 1} \left(\frac{\omega_0}{\Gamma} \right)^2 \left(\frac{\hbar \omega_0}{k_p T} \right)^2 \left(\frac{1}{4 \sinh \left(\frac{\hbar \omega_0}{2 k_p T} \right)} \right)^2$$

Le flux dépend de la densité électronique par l'intermédiaire de la fréquence plasma ω_0 et des pertes Γ . Le flux est maximal pour une densité égale à $n=2 \cdot 10^{19}$ cm⁻³.

Mesure du flux thermique entre deux sphères de verre



Le flux thermique est mesuré entre deux sphères. Une des sphères est collée sur un fil de platine chauffé par un courant à la fréquence ω entraînant des oscillations de températures à la fréquence 2ω . L'autre sphère est collée sur un bilame. Nous mesurons l'amplitude des oscillations du bilame (à 2ω). L'ensemble est placé sous vide secondaire afin de s'affranchir de la conduction dans l'air.

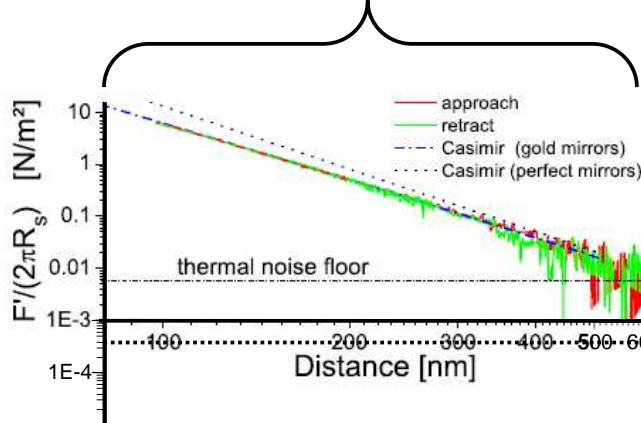


Nous observons une augmentation significative du flux thermique lorsque la distance entre les deux sphères diminue.

L'intensité du chauffage a été diminuée de moitié entre la courbe noire et la courbe rouge. La différence entre la courbe rouge et la courbe verte résulte d'une dérive thermique de l'appareil (chauffage identique entre les deux courbes). Une procédure d'étalonnage ainsi qu'une meilleure thermalisation sont actuellement en cours afin d'effectuer une analyse quantitative des données.

Méthodes et outils de caractérisation

Mesures obtenues à T° ambiante



Mesures à basse température

Caractérisation de la force de Casimir au delà de 600 nm

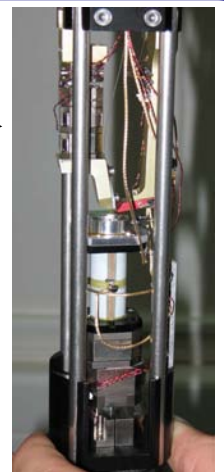
Tête de mesure insérée dans un cryostat He

- Réduction des dérives de positionnement, 0,01 nm/min au lieu de 1 nm/min
- Abaissement du seuil de bruit thermique de 13 à 0,8 fN/√Hz

Extension à 4 K

Seuil de bruit thermique à 4 K

Casimir (miroirs Au)



Contacts

CEA/LETI - MINATEC: B.Reig (coordinateur)
 bruno.reig@cea.fr, tél: 04 38 78 25 04
 Institut Néel: J. Chevrier
 joel.chevrier@grenoble.cnrs.fr
 ENS/LKB: A. Lambrecht
 astrid.lambrecht@spectro.jussieu.fr
 ECP/EM2C: J.J. Greffet
 greffet@em2c.ecp.fr
 CEDRAT: V. Leconte
 vincent.leconte@cedrat.com

