

Sujets de Master 2019



MODÉLISATION,
EXPLORATION DES MATÉRIAUX

[1] Modélisation de portes à deux qubits silicium

Modélisation de portes à deux qubits silicium

Contact : Yann-michel NIQUET DRF//INAC/MEM/L_SIM yann-michel.niquet@cea.fr 0438786862

Stage pouvant se poursuivre en thèse : Oui

Résumé :

Des "ordinateurs quantiques" seront peut-être un jour capables de résoudre des problèmes hors de portée des ordinateurs classiques. De tels ordinateurs ne manipulent plus seulement les électrons comme des particules, mais aussi comme des ondes qui entretiennent des relations de phase et qu'il est donc possible de faire interférer. La préparation, la manipulation cohérente et la "lecture" d'états quantiques posent d'immenses défis. L'une des options prometteuses pour réaliser des "bits quantiques" (qubits) consiste à détourner des transistors MOS silicium pour y stocker quelques électrons et y manipuler leur spin. Le CEA fabrique et caractérise de tels dispositifs, et développe des outils adaptés à leur modélisation. L'objectif de ce stage sera d'étudier la dynamique de portes à deux (ou plus) bits quantiques en résolvant l'équation de Schrödinger dépendante du temps en présence d'interactions électroniques dans une géométrie réaliste. Il s'agira de comprendre comment manipuler l'information dans ces dispositifs afin de réaliser les opérations élémentaires d'un ordinateur quantique. Cette étude sera menée en étroite collaboration avec les équipes de physique expérimentale travaillant sur le sujet, dans le cadre d'un projet ERC européen sur les réseaux 2D de qubits silicium.

Sujet détaillé :

Les transistors MOS "classiques" permettent de contrôler le passage d'un courant entre des contacts de "source" et de "drain" en appliquant un champ électrique sur une électrode de "grille" qui attire ou repousse les électrons. A basse température, ce contrôle devient si fin qu'il est possible de piéger un (ou quelques) électron(s) sous la grille. Ces électrons (en particulier leur spin) peuvent alors être manipulés en appliquant des champs magnétiques et/ou des impulsions radiofréquence sur la grille. On peut ainsi préparer un état de spin particulier, superposition des états "up" et "down", puis le faire tourner, ou le coupler avec un autre spin sous une grille voisine (via des interactions tunnel et Coulombiennes) afin d'intriquer leur dynamique et de réaliser des portes à deux (voir plusieurs) qubits capables d'effectuer les opérations élémentaires d'un ordinateur quantique. L'ensemble de ces opérations peut être modélisé en résolvant l'équation de Schrödinger dépendante du temps en présence d'interactions électroniques, ce que fait le code "TB_Sim" développé au CEA Grenoble dans une géométrie réaliste (cf. image). En outre, les électrons peuvent subir toutes sortes d'interactions non souhaitées avec leur environnement (couplage aux spins des noyaux atomiques, aux bruits sur les champs magnétiques et électriques, aux défauts chargés, etc...). Ces interactions limitent le contrôle de leur état quantique et entraînent la "décohérence" (perte des informations stockées dans cet état). Ces processus seront intégrés à l'équation de Schrödinger dépendante du temps afin de comprendre précisément comment ils impactent la dynamique du système et comment ils peuvent être maîtrisés.

Cette étude sera menée en étroite collaboration avec les équipes expérimentales du CEA/LETI, CEA/INAC et CNRS/Néel dans le cadre du projet européen ERC Synergy quCUBE, qui vise à développer des réseaux 2D de qubits silicium.

Compétences requises :

Goût pour la modélisation, la simulation numérique et les mathématiques