

Single ion implantation for quantum device fabrication

量子デバイス作製のための単一イオン注入

Jeffrey C. McCallum

Centre for Quantum Computation and Communication Technology, School of Physics, University of Melbourne, Australia

メルボルン大学、物理部、量子コンピューティング・情報センター、オーストラリア

Deterministic doping via single ion implantation is being utilized in the fabrication of quantum devices for developments in solid-state quantum computing (SSQC) and quantum communications. Single ion implantation techniques have been developed in the Centre for Quantum Computation and Communication Technology (CQC2T) in Australia over a number of years. Implantation of single ions has been accomplished by detecting the relatively small numbers of electron-hole pairs that are generated as keV energy phosphorus ions come to rest in the substrate. This program has now developed to the stage where devices that exhibit spin-dependent transport have been fabricated. Scale-up to deterministic doping of arrays is being investigated using a scanned aperture. Nanoscale MOSFET devices have also been investigated for single ion implantation as part of the Atomic Functionalities in Si Devices (AFSiD) project of the EU seventh framework. In these devices the single ion detection method involves analysis of changes in the source-drain current due to defects arising from the passage of ions through the devices.

In this presentation, a brief overview of deterministic doping research efforts around the world will be given and the solid-state quantum computer device research of the CQC2T and AFSiD programs will be discussed. Our single ion detection methodologies will also be discussed, including strengths and challenges and future directions for improvements in methods and implementations will be addressed.

単一イオン注入を用いた究極的なドーピングは、固体材料を用いた量子コンピューティング(SSQC)や量子情報通信技術の開発のために用いられる量子デバイスの作製に利用されようとしている。オーストラリアの量子コンピューティング・情報センター(CQC2T)では、数年以上、単一イオン注入技術を開発してきた。単一イオン注入では、keV 級のエネルギーのリンイオンが基板中で発生するといった、比較的少量の電子-正孔対の観測により達成される。CQC2T で遂行しているプロジェクトでは、研究はスピン依存輸送を示すデバイスが作製される段階へと来ており、現在は、微小開口部のスキャンを使用した、究極的なドーピングアレイへのスケールアップに関する研究が開始されている。また、欧州共同体(EU)との枠組みで行われているシリコン(Si)デバイスの原子レベルの機能性(AFSiD)プロジェクトの一環として、単一イオン注入のためのナノスケール MOSFET(金属-酸化膜-半導体 電界効果トランジスタ)デバイス研究も開始されている。ここでは、デバイス中の単一イオン検出技術は、デバイスを通るイオンの経路から発生する欠陥に起因するソース・ドレイン電流中の電荷の解析を取り入れている。

本講演では、世界の究極的なドーピング研究の概況を説明し、CQC2T や AFSiD プロジェクトで行っている固体量子コンピューティング・デバイスに関する研究開発を紹介する。我々の技術的強みや挑戦的研究を含めて単一イオン検出技術に関しても議論を行い、それらの方法や実装の改良のための未来に向けた方向性を示す。