

極低温動作 MOSFET の低周波ノイズ抑制に向けた SiO₂/Si 界面品質改善技術の開発

SATテクノロジー・ショーケース2023

■ はじめに

量子力学的な現象を利用する計算機である量子コンピュータは、組み合わせ最適化や材料科学計算などの社会的に重要ないくつかの問題について、現在のコンピュータを上回る高速計算が実現できることが理論的に証明されている。高性能な量子コンピュータの実現には100万超の量子ビットの集積が求められる。量子ビットの集積化には、超電導回路やシリコン量子ビットなどの固体素子型量子ビットに優位性があると考えられている。これらの量子ビットは数ケルビン以下といった極低温で動作するものであり、量子ビットは冷凍機の内部に配置される。量子ビットは冷凍機外の制御機器により、多数の配線を介して制御されている。しかし、冷凍機の許容できる配線本数は数百本程度であり、量子ビットの集積化のボトルネックとなることは明らかである。

そこで、制御機能を集積回路化し、冷凍機内に配置する技術が期待されている。これにより冷凍機内外をつなぐ配線数が大幅に削減されることが可能になると考えられている(図1)。制御回路は冷凍機内の低温で動作することからクライオCMOSと呼ばれている。

MOSFETの極低温動作は室温とは異なる部分が多く、中でも1/f ノイズと呼ばれるノイズが極低温で大幅に増大することが知られている。1/f ノイズの起源はシリコン/酸化膜界面の欠陥がキャリアの捕獲放出を引き起こすことだと明らかにされている。そのためクライオCMOSの実現にはシリコン/酸化膜界面の品質改善が必要と考えられている。本研究では高性能クライオCMOS回路実現のため、界面品質改善技術の開発を目指す。

■ 活動内容

1. 界面品質改善技術の開発

一般にMOSFETの製造工程には、水素で熱処理を行う工程が存在する。シリコン/酸化膜界面の欠陥の一種である未結合手を水素が終端することにより特性改善、信頼性向上につながる。本研究では界面準位密度の低減を目的とし、以下の手法を試み、極低温下での評価を行う。

● 重水素終端

熱処理の雰囲気気を重水素で置き換えるとMOSFETの信頼性が向上することが知られている。シリコン-重水素結合は電氣的ストレスに対して切れにくい結合であると考えられている。

● フッ素終端

界面欠陥をより強い結合であるシリコン-フッ素結合で置き換えることにより、MOSFETの特性改善、信頼性向上につながる事が知られている。

● 高圧水素アニール

熱処理工程は一般的に真空～大気圧下で行われるが、これを高圧下で行うことで、より未結合手の終端が行われ、界面準位密度が低下することが知られている。

■ 関連情報等(特許関係、施設)

本研究では、評価するMOSFETの作製に産総研の未踏デバイス試作共用ライン(COLOMODE)を利用する。

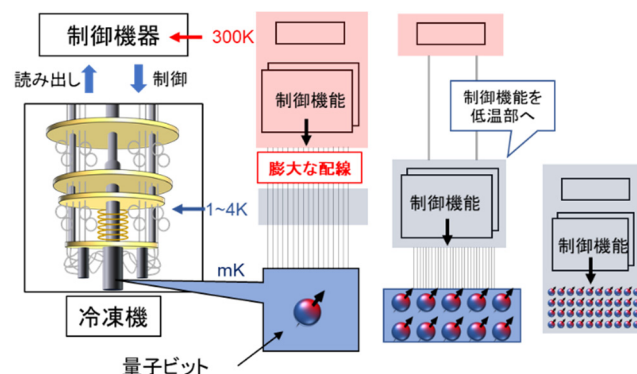


図1 量子コンピュータ構成と
クライオCMOS回路による量子ビット制御形態

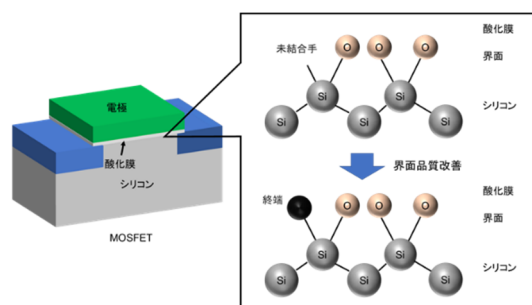


図2 シリコン/酸化膜界面の未結合手終端の
断面模式図

代表発表者 所 属 問合せ先
 下方 駿佑(したかた しゅんすけ)
 慶應義塾大学 理工学部物理情報工学科
 産業技術総合研究所 デバイス技術研究部門
 〒305-8568 茨城県つくば市梅園 1-1-1 中央第2
 TEL: 029-849-1347
 E-Mail: s-shitakata@aist.go.jp

■キーワード: (1)クライオ CMOS
 (2)量子コンピュータ
 (3)シリコン
 ■共同研究者: 森貴洋(産総研)
 岡博史(産総研)
 加藤公彦(産総研)
 飯塚将太(産総研)
 浅井栄大(産総研)
 稲葉工(産総研)