P-16

ナノテクノロジー

スピン量子ビット実現に向けた シリコン量子ドットの作製と評価

■ はじめに

量子コンピュータは、量子力学の原理を利用して情報処理を担うための単位を量子ビットとし、「0」と「1」の状態を任意に組み合わせた重ね合わせ状態を利用したコンピュータである。従来のコンピュータと比べて複雑な計算に対して高い処理能力を持つことから、将来の実用化によって我々の生活を一変させる可能性がある。しかし、実装するには、量子ビット集積化時に必要な配線数などの技術的なコストが小さいことと、重ね合わせ状態の維持時間(コヒーレンス時間)が長いことが必要である。

これらの課題に対処すべく、現在世界中で様々な物理系が提案されている。その中でも本研究では、シリコン中に閉じ込められた電荷のスピン状態を量子情報担体としたシリコンスピン量子ビットの実現に向けた研究を行っている。シリコンスピン量子ビットは、既存のCMOS微細加工技術との整合性が高く、コヒーレンス時間が長いことから実現への有力な候補となっている。

■ 活動内容

1. 物理形成量子ドットの作製

本研究で作製しているデバイスを図1のSEM写真に示す。MOSFET型構造で、電子線リソグラフィやエッチングプロセスを利用してシリコンのパターニングを行い、強いくびれ構造の間にある微小空間である量子ドットを物理的に作製したものとなっている。この構造の利点としては、電荷を閉じ込めるのに必要なトンネル障壁を形成するための電極が不要であり、集積化に有利である点が挙げられる。

2. RF波を用いたスピン状態の読み出しの実証

電荷スピン状態をコヒーレンス時間内かつ高感度でセンシングを行うこともスピン量子ビット実現に重要な要件の一つである。そこで、1. で作製したデバイスを用いて、量子ドットに閉じ込められている電荷状態を高感度かつ数百MHzの周波数帯で読み出しを行う。図1のように、量子ドット近傍に作製された電荷センサにRF波読み出し用の回路を実装する。読み出しにはRF反射測定が用いられている。LC共振器を用いてインピーダンスマッチングをとり、量子ドット内に閉じ込められている電荷数の変化に応じて近傍の電荷センサのインピーダンスの変化を反射率によって読み出すという原理になっている。

3. 物理形成量子ドットの多重化

これまでのシリコン量子ビットでは、主に2個を配置した構造を集積化における基本単位構造として実装されてきたが、本研究では1. で作製した構造と同様のプロセスで、3個以上の量子ドットを配置した構造を基本単位とするデバイス構造の作製も試みた。その結果、図2のように、十字型に5個の量子ドットを配置した構造のパターニングに成功した。この構造は、量子演算の過程で発生したエラーに対して耐性を持つ量子ビットを構成した量子誤り訂正符号の中で最も単純で2次元的に拡張したものとして期待されている。今後は、この構造で電荷輸送特性の観測を行い、量子誤り訂正の実験的なアプローチに向けた知見を得る予定である。

■ 関連情報等(特許関係、施設)

本研究で用いるデバイスは、代表発表者がデバイス技術研究部門にある施設のプロセス装置を使用して作製している。

発表実績

①TCQC conference, 2019年12月

②第67回応用物理学会春季学術講演会, 2020年3月

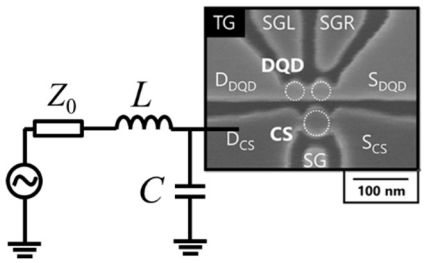

図 1. 物理形成量子ドットの SEM 写真と RF 反射測定の回路図

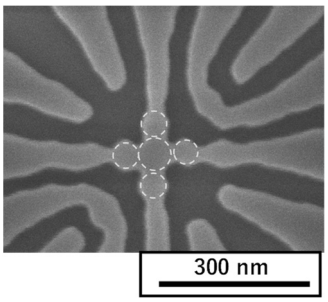

図 2. 量子ドットを多く配置した構造の SEM 写真

代表発表者　**西山　伸平(にしやま　しんぺい)**
所　　属　**①東京工業大学　工学院電気電子系　小寺研究室**
②産業技術総合研究所　デバイス技術研究部門
新原理デバイス研究グループ
リサーチアシスタント
問合せ先　**①〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1**
TEL:03-5734-2508
②〒305-8568　茨城県つくば市梅園 1-1-1　中央第 2
TEL:029-861-7212
Mobile:080-5515-2304
E-Mail:nishiyama-sh@aist.go.jp

■キーワード: (1)シリコン
(2)スピン量子ビット
(3)量子コンピュータ

■共同研究者: Sinan Bugu(東工大)
溝口　来成(東工大)
加藤　公彦(産総研)
柳　永勛(産総研)
森　貴洋(産総研)
小寺　哲夫(東工大)