

## 半導体量子ビットの研究動向と展望

### Trends and prospects of semiconductor qubit research

東京科学大 ○小寺 哲夫

Science Tokyo, °Tetsuo Koderu

E-mail: koderu.t.ac@m.titech.ac.jp

革新的な次世代コンピュータとして量子コンピュータが注目されて久しい。特に近年は、複雑な実問題を高速に解き得る誤り耐性型汎用量子コンピュータの開発が期待されている。例えば、量子化学計算によって、創薬、触媒、新材料開発などに役立ち、大規模な線形連立一次方程式を解く量子アルゴリズムによって、流体工学、航空工学、制御工学、建築・土木工学など、工学的な応用が広がると期待される。その実現に向けては量子ビットの高忠実度と高集積度の両立が必要である。誤り耐性型量子コンピュータを実現できる 100 万程度の物理量子ビット数に至るにはまだまだ相当の時間を要するが、超伝導体、原子、イオン、光など様々な物理系でその研究開発が着実に進められており、半導体量子ビットも有力な候補の一つとなっている。半導体集積技術は成熟しており、量子コンピュータへの応用が期待されている。

半導体量子ビット研究、特にシリコン系での研究は、この 10 年間で目覚ましい進歩を遂げている。スピン量子ビット研究の重要なステップとして、単一電子状態、スピンプロックード、シングルショット読み出し、高忠実なスピン操作および 2 量子ビット操作、量子誤り訂正などが実現されてきた。また集積化に関わる研究として、スピン量子ビットの高温動作、長距離スピン結合、シャトリングなども実現された。2023 年には、Intel が Tunnel Falls と呼ばれる 12 量子ビットデバイスを様々な研究機関に配布し、研究開発がますます加速している。

筆者らも、MOS トランジスタ構造をベースとしたシリコン量子ドットにおいて、単一電子状態の電荷検出、スピンプロックード、多重量子ドット特性の観測、シングルショット読み出し、RF 単一電子トランジスタ、高温での正孔スピン操作などを実現してきた。日立製作所や産業技術総合研究所との共同研究では、電荷トラップやラフネス低減への取り組み、シリコン量子ドットアレイ開発、単一電子ポンプ実証などを行っている。また、Si/SiGe ヘテロ構造をベースとした量子ドットについては、理化学研究所との共同研究により、高忠実度単一量子ビット操作、非破壊量子計測などの重要な要素技術を開発し、二次元量子ドットアレイの設計提案も行っている。

本講演では、解説論文賞の対象となった応用物理総合報告の内容に加えて[1,2]、半導体量子ビットの高忠実度化に関わる研究開発と、高集積化に向けた様々な取り組みや周辺技術の研究開発について、その世界的な最新動向も紹介する。

本研究は、JST Moonshot R&D (JPMJMS2065)、MEXT QLEAP (JPMXS0118069228)、JST CREST (JPMJCR24A1)、科学研究費補助金 (JP23H05455, JP23K17327)の助成を受けて遂行された。

[1] 小寺哲夫、応用物理 総合報告、第 92 巻、第 12 号 pp. 713-722 (2023).

[2] T. Koderu, JSAP Rev., 240101, p.1-11 (2024).