

Perspektywa modelowania i implementacji hybrydowego półprzewodnikowo-nadprzewodzącego kwantowego komputera wysokiej skali integracji

Krzysztof Pomorski^{1,2}

Instytut Fizyki, Politechnika Łódzka¹
Quantum Hardware Systems, Łódź²

Rozwój technologii kwantowego przetwarzania informacji zmierza w stronę implementacji pełnoskalowej nadprzewodzącego komputera kwantowego opartego na złączach Josephsona [1-2] i sterowanego istotnie polem magnetycznym, czego wyrazem jest IBM-Q Experience [2] czy osiągnięcia Google [3]. Z drugiej strony miniaturyzacja technologii nadprzewodzących jest ograniczona przez długość koherencji nadprzewodzącej (rzędu 300nm w klasycznych nadprzewodnikach) co w zupełności nie ma miejsca w technologiach półprzewodnikowych, gdzie długość kanału tranzystora polowego może być poniżej 3nm z zachowaniem pełnej funkcjonalności obwodów zintegrowanych. To ostatnie istotnie oznacza osiągnięcie reżimu stosowności mechaniki kwantowej i daje perspektywę funkcjonalizacji urządzeń CMOS dla kwantowego przetwarzania informacji. Staje się to szczególnie urealnione w przypadku urządzeń jednoelektronowych [4-5]. Połączenie perspektywy przemysłowego rozwoju niskoszumowej mezoskopowej elektroniki nadprzewodzącej oraz rozwoju nanoskopowej elektroniki półprzewodnikowej może być wyrażalne poprzez interfejs złącza Josephsona [6] a układ półprzewodnikowych kropek kwantowych, co nieuchronnie prowadzi do hybrydowego nadprzewodząco-półprzewodnikowego komputera kwantowego wysokiej skali integracji działającego w głębokich warunkach kriogenicznych. W niniejszej prezentacji zaprezentowane są dwie koncepcje: interfejsu elektrostatycznego i indukcyjnego [7]. Zostaną one omówione w kontekście równań Bogoliubova-de Gennesa zmodyfikowanych przez przeskok pojedynczych elektronów w układzie półprzewodnikowych kropek kwantowych sterowanych elektrostatycznie. Prowadzi to do nieuchronnej deformacji stanu Andrejewa, co konsekwentnie wpływa na charakterystykę prądowo-napięciową złącza Josephsona oraz prowadzi do topologicznego przejścia fazowego [8]. W dalszej części prezentacji perspektywa rozwoju kwantowej sieci neuronowej zostanie nakreślona poprzez wytypowaną metodologię modelowania kwantowych sieci neuronowych zbudowanych na bazie pojedynczych kropek kwantowych.

Literatura

- [1]. J.Q.You, F.Nori, „*Superconducting Circuits and Quantum Information*”, Vol.58 ,Physics Today, 2015.
- [2]. IBM Q-Experience (<https://quantum-computing.ibm.com/>).
- [3]. Arute, F., Arya, K., Babbush, R. *et al.* *Quantum supremacy using a programmable superconducting processor*, *Nature*, Vol. 574, 505–510, 2019.
- [4]. T.Fujisawa, T.Hayashi, Y.Hirayama, H.D.Cheong, Y.H.Jeong, *Electron counting of single-electron tunneling current*, *Appl. Phys. Lett.* 84, 2343–2345, 2004.
- [5]. Gonzalez-Zalba, M.F., de Franceschi, S., Charbon, E. *et al.* *Scaling silicon-based quantum computing using CMOS technology*. *Nat Electron* 4, 872–884 (2021).
- [6]. K.Pomorski, A.Bednorz, „*Justification of the canonical quantization of the Josephson effect and its modifications due to high capacitance energy*”, *J. Phys A: Math. Theor.*, Vol 49, 2016.
- [7]. K.Pomorski *et al.*, *From two types of electrostatic position-dependent semiconductor qubits to quantum universal gates and hybrid semiconductor-superconducting quantum computer*, *Proc. SPIE 11054, Superconductivity and Particle Accelerators 2018*, 110540M.
- [8].K.D.Pomorski *et al.*, *Analytical solutions for N interacting electron system confined in graph of coupled electrostatic semiconductor and superconducting quantum dots in tight-binding model*, *Cryogenics*, Vol. 109, 2020, 103117.