超伝導量子ビット集積化のためのジョセフソン接合特性均一化

Uniformity improvements of Josephson-junction characteristics for integration of superconducting qubits

富士通 [1]，理研 [2]，東大 [3]　○高橋 剛 [1,2]，高馬悟覚 [1,2]，土肥義康 [1,2]，佐藤信太郎 [1,2]，
玉手修平 [2]，中村泰信 [2,3]

Fujitsu[1], RIKEN[2], Univ. of Tokyo[3], ○Tsuyoshi Takahashi[1,2], Norinao Kouma[1,2], Yoshiyasu Doi[1,2],
Shintaro Sato[1,2], Shuhei Tamate[2], and Yasunobu Nakamura[2,3]

E-mail: takahashi.tsuyo@fujitsu.com

【はじめに】超伝導量子ビットの大規模集積化においては、ウェハスケールでのジョセフソン接合素子（JJ）特性の均一化が重要である。しかし、Fig. 1 に示すように Al/AlO$_x$/Al で構成された JJ において、特性指標である室温接合抵抗 (R_N) に大きな面内ばらつき（変動係数 CV: 6.7%）が生じた。その原因として、R_N 値が斜め蒸着中のレジストマスクの側壁への金属蒸着によって影響を受けることを明らかにし、さらに R_N の均一性を改善するために二段階斜め蒸着法の導入を提案した[1]。これにより、3 インチ Si ウェハ内の CV を低減できたので報告する。

【ばらつき考察】ばらつきのメカニズムを考察すると、JJ 作製時の斜め蒸着が影響すると考えられた。十字型の JJ 開口パターンに斜め蒸着を行う場合、Fig. 2 (a)に示すように 1 回目の蒸着では成膜されない方向ができる[2]。ただし、レジストの側壁には蒸着膜が形成されるため、2 回目の蒸着時にはパターンの開口寸法が狭くなる。さらに蒸着源からの距離や入射角度がウェハ面内で異なるため、側壁膜の厚みが場所によって異なる（Fig. 2 (b)）。結果として、2 回目の開口寸法が場所に依存して変動するため、JJ 接合のサイズも変動し、R_N のばらつきが発生する。

【改善結果】Fig. 3(a)に、開口ばらつきを抑制する二段階蒸着法を示す。180° 方向を変えて斜め蒸着を行うことで側壁に蒸着される膜厚をウェハ内で均一化する。これで 2 回目の蒸着開口寸法が等しくなる。さらに、Fig. 3(b)のようにウェハ面内でパターンサイズに異なるシフトをかけて、R_N のばらつきを抑制した。Fig. 4 に、ばらつき改善対策を適用した R_N の分布を示す。Fig. 1 に示す偏った分布がなくなり、CV を 4.5%に改善した。量子ビットチップ相当（10mm 角）では、1.1%まで CV を改善できた。

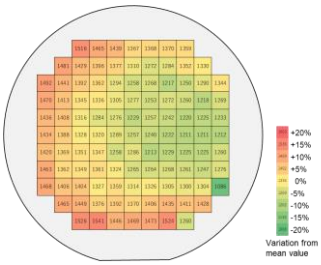
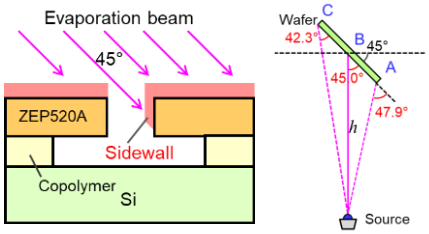
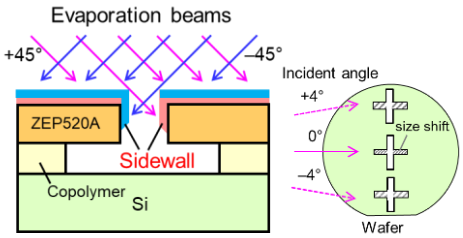


Fig. 1 The R_N distribution of JJs fabricated on a 3-inch silicon wafer.



(a)　(b)

Fig. 2 (a) Sidewall deposition caused by the first evaporation. (b) Incident angle of the first evaporation.



(a)　(b)

Fig. 3 (a) Two-step evaporation procedure. (b) Shift of pattern size due to the incident angle.

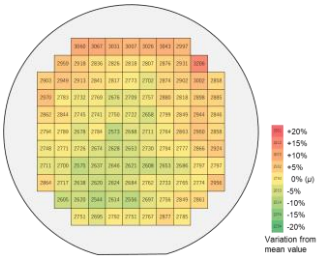


Fig. 4 Modified R_N distribution.

参考文献

[1] T. Takahashi *et al.*, Ext. Abstr. SSDM (2022) p. 189.
[2] A. Potts *et al.*, J. Mater. Sci., Mater. Electron. **12**, 289 (2001).