

単一段差ジョセフソン接合で構成されるダイヤモンド SQUID の作製

Fabrication of Diamond SQUID using Single Step Josephson Junctions

早稲田大学¹, 物質・材料研究機構², 早大材研³ ○(B)高橋 泰裕¹, (M2)天野 勝太郎¹, (M1)森下 葵¹, 蔭浦 泰資^{1,2}, 高野 義彦², 立木 実², 大井 修一², 有沢 俊一², 川原田 洋^{1,3}
Waseda Univ.¹, NIMS², Kagami Memorial Research Institute for Materials Science and Technology³
○Yasuhiro Takahashi¹, Shotaro Amano¹, Aoi Morishita¹, Taisuke Kageura^{1,2}
Yoshihiko Takano², Minoru Tachiki², Shuichi Ooi², Shunichi Arisawa², Hiroshi Kawarada^{1,3}

E-mail: takayasu_takkyuu@akane.waseda.jp

極微小磁場が検出可能な磁気センサ、超伝導量子干渉計(Superconducting Quantum Interference Device: SQUID)は代表的な超伝導デバイスの1つであり、Nb系材料は磁気特性測定装置、走査型SQUID顕微鏡といった物性研究や、脳磁計、MRIといった医療分野で実用化され、Al系は量子コンピュータの量子ビットに利用されている。これらの材料では温度変化、自然酸化、物理的接触による劣化が課題である。そこで我々は、ダイヤモンドの優れた耐酸化性や耐摩耗性を活かした堅牢性の高いSQUIDを作製し動作実証してきた^{[1][2]}。中でも基板上に形成された微細トレンチ由来の結晶の不連続性を利用した weak link 型ジョセフソン接合(JJ)で構成されるSQUIDは、液体ヘリウム温度(4.2 K)を上回る 10 K で動作し^[2]、ダイヤモンドSQUID実用化への可能性を示している。しかし、構造の複雑さのためJJの均一性が課題で、センサ感度の低化や再現性の低下が懸念されている。そこで本研究では、単純な1段の段差を用いた weak link 型JJ^[3]を含むSQUIDを作製、動作実証した。

作製プロセスとしては、(111)単結晶ダイヤモンド基板上に反応性イオンエッチング(RIE)により高さ 40 nm 程度の浅い段差を形成した後、段差を横断する形で超伝導ボロンドープダイヤモンドを 140 nm 程度選択エピタキシャル成長させた。デバイス概略図を Fig.1 に示す。線幅は 15 μm 、有効面積 A_{eff} は $23 \times 45 \mu\text{m}^2$ とした。本構造では、段差上に生じる2つの成長セクター間の不連続性が weak link となってJJを形成していると考えられる。作製したSQUIDは、10 K と 8.0 K で2段階の超伝導転移を示し、SQUID内のJJの超伝導転移温度 T_c は 8.0 K であった。Fig.2 に 4.2 K ~ 9.0 K における電流-電圧(I - V)曲線を示す。4.2 K ~ 9.0 K でヒステリシスのない I - V 曲線を観測し、4.2 K における臨界電流値 I_c 、常伝導抵抗 R_n 、 $I_c R_n$ 積はそれぞれ 0.43 mA, 1.64 Ω , 0.71 mV であった。続いて Fig.3 に 8.0 K における電圧の磁場依存性を示す。 ΔV は最大で 1.4 μV を示し、1周期の磁場 B_{ext} は 2.3 μT であった。観測された B_{ext} が A_{eff} から求まる計算値 2.0 μT に概ね一致したことから、本構造でのSQUID動作が実証された。また、同一基板上に作製した複数のSQUIDで同様の電圧振動を観測し、構造の単純化によるJJの均一性向上が認められた。

本成果により、単一段差JJを用いたダイヤモンドSQUIDが液体ヘリウム温度以上で動作可能であることを実証した。また、本構造による特性の均一化及び再現性の向上が示唆された。今後の展望としては、段差高さやボロンドープ層の膜厚最適化等によりJJ自体の特性向上を図るとともに、これまで着手できていなかったSQUIDループの線幅や面積、形状といったデザイン面の最適化を行い磁気センサとしての特性向上を目指す。

[謝辞]本研究(の一部)は、文部科学省ナノテクノロジープラットフォーム(NIMS 微細加工プラットフォーム)の支援を受けて実施された。

[1] T. Kageura, H. Kawarada *et al.*: Scientific reports **9** (2019) 15214.

[2] 森下葵, 川原田洋他, 第 66 回応用物理学会春季学術講演会予稿集, 11a-M113-10 (2019)

[3] 高橋泰裕, 川原田洋他, 第 80 回応用物理学会秋季学術講演会予稿集, 20a-E312-9 (2019)

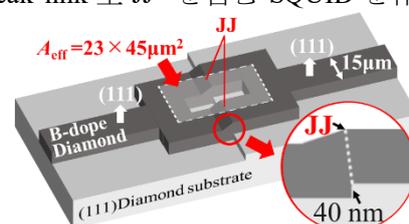


Fig.1 SQUID (single step)

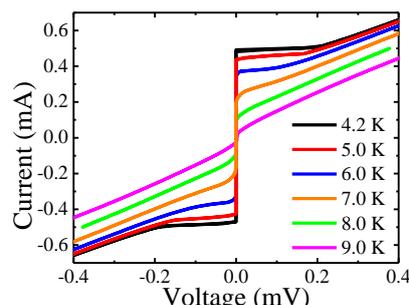


Fig.2 I - V characteristics

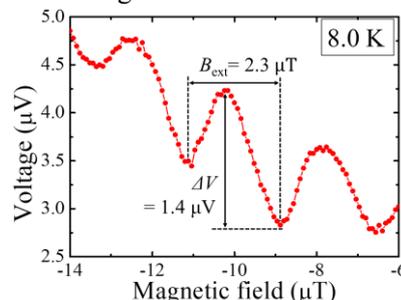


Fig.3 SQUID oscillation