

(111)成長層の単一段差で構成される 超伝導ボロンドープダイヤモンドジョセフソン接合 Superconducting Boron-doped Diamond Josephson Junction Formed by Single (111) Shallow Growth Step

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

超伝導量子干渉計(SQUID)は極めて微小な磁場($\sim$ fT)を検出可能な超高感度磁気センサであり、医療や非破壊材料構造分析、資源探査等幅広い分野に応用されている。しかし、Nb系をはじめとするSQUIDの超伝導材料は酸化や摩耗等による経年劣化が課題となる。一方、超伝導ボロンドープダイヤモンドは従来材料に比べ、耐酸化性や耐熱性、耐摩耗性に優れており、堅牢なSQUIDへの応用が期待される。また、ボロンドープダイヤモンドの超伝導転移温度 T_c は面方位によって異なり^[1]、(111)成長層で最高10 K^[2]を示す。これは広く用いられているNbの T_c ($\approx$ 9.2 K)に匹敵する値である。我々は、 T_c の高い(111)成長層のみを活かした構造によりジョセフソン接合及びSQUIDを作製し、最高10 Kで動作を実証してきた^[3]。この構造では幅300 nm、深さ40 nmの微細トレンチの形状と段差の高さのどちらに起因するか解明されておらず、接合特性の向上にはこの本質的な問題を調査する必要があった。そこで本研究では、一段のみの浅い段差上にボロンドープダイヤモンドを成長させることでジョセフソン接合を作製し、段差構造と接合特性の相関を解明した。

我々は浅い段差上に超伝導層を成長させ、不連続な(111)成長セクターの境界に弱結合を持つジョセフソン接合を作製した[Inset of Fig. 1]。本構造は、(111)単結晶ダイヤモンド基板上に酸素プラズマエッチングにより高さ約45 nmの浅い段差を形成し、その段差を横断させる形で膜厚300 nm程度の超伝導ボロンドープ層をマイクロ波プラズマ化学気相堆積法により選択エピタキシャル成長させて形成した。Fig. 1に示す抵抗の温度依存性より、二段階の超伝導転移(9.0 K, 8.2 K)が観測された。初段9.0 Kがバルク部分の T_c に相当し、次段8.2 Kがジョセフソン接合の T_c に相当する。これは(111)面以外の面方位では実現できない温度^[1]であり、(111)成長層のみで接合が形成されたと考えられる。また、電流-電圧(I - V)特性により直流・交流ジョセフソン効果を1.6~8.0 Kで観測した。Fig. 2に6.0 Kにおける結果を示す。マイクロ波非照射時(黒線)ではヒステリシスのない I - V 曲線が得られ、6.0 Kにおいて臨界電流値 I_c =0.23 mAであり、接合特性を表す $I_c R_n$ 積は0.21 mVであった。一方、マイクロ波照射時(赤線、20 GHz)では明瞭なシャピロステップが観測され、ステップの間隔はマイクロ波周波数から求まる理論値0.041 mVと一致した。微細トレンチでは深さや幅の大きさによって異なる接合の振る舞いが観測されていた。一方、浅い段差では高さを変えることで同様の傾向が見られた。よって、接合の形成には少なくとも高さが重要なパラメータだと推測される。

本成果により、浅い($\sim$ 45 nm)段差上へエピタキシャル成長により不連続な(111)成長層が形成され、この浅い段差構造がジョセフソン接合を可能とすることを実証した。

[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] A. Kawano, H. Kawarada *et al.*: Physical Review B **82** (2010) 085318.

[2] T. Kageura, H. Kawarada *et al.*: Diamond and Related Materials **90** (2018) 181.

[3] 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)

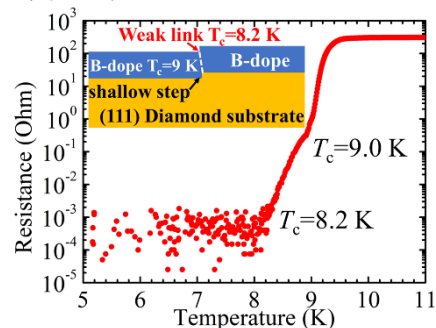


Fig. 1 Temperature dependence of resistance
Inset: Shallow step type Josephson junction

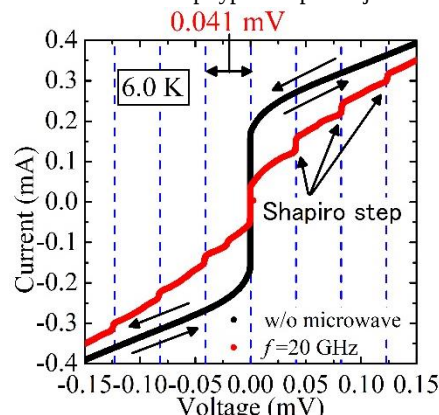


Fig. 2 I - V characteristics at 6.0 K