

課題番号 : F-19-NM-0030
 利用形態 : 機器利用
 利用課題名(日本語) : (111)超伝導ボロンドープダイヤモンドのみで構成されるジョセフソン接合の検討
 Program Title(English) : Study of Josephson junction using (111) superconducting boron-doped diamond
 利用者名(日本語) : 高橋泰裕
 Username(English) : Y. Takahashi
 所属名(日本語) : 早稲田大学 基幹理工学部 電子物理システム学科
 Affiliation(English) : Department of Electronic and Physical Systems, Waseda University
 キーワード/Keyword : ナノエレクトロニクス、リソグラフィ・露光・描画装置、ダイヤモンド、ジョセフソン接合

1. 概要(Summary)

我々は超伝導ボロンドープダイヤモンドを用いた超伝導量子干渉計(SQUID)の作製を行ってきた。ジョセフソン接合(JJ)はSQUIDの特性を決定する重要な構成要素であり、ダイヤモンドでは基板上微細トレンチを用いた構造で最高 10 K の動作が実証されている。しかし、この構造は集束イオンビーム法により形成したトレンチの形状が複雑で JJ の均一性が低いという課題があった。そこで本研究では、トレンチの代わりとして反応性イオンエッチングにより形成した形状がシンプルな一段の段差を用いてダイヤモンド JJ の作製し、均一性の向上を図った。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

- ・高速マスクレス露光装置 (Maskless Lithography)
- ・12 連電子銃型蒸着装置 (E-gun Evaporator)
- ・シリコン深堀エッチング装置 (Silicon Deep RIE)
- ・ワイヤーボンダー (Wire Bonder)

【実験方法】

作製プロセスとしては、まず(111)単結晶ダイヤモンド基板上にシリコン深堀エッチング装置の O₂ プラズマにより段差を形成した後、段差を横断する形でボロンドープダイヤモンドをマイクロ波プラズマ化学気相堆積(MPCVD)法により選択エピタキシャル成長させる。エッチングマスク、選択成長用マスクには金属マスクを使用しており、そのパターンニング及び金属膜の蒸着には NIMS 微細加工 PF の高速マスクレス露光装置と 12 連電子銃型蒸着装置を利用した。また、測定装置の試料ホルダーとデバイス間の配線に同施設保有のワイヤーボンダーを使用した。ボロンドープダイヤモンドの成膜は川原田研究室保有の MPCVD 装置にて行った。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

段差高さ 45 nm 前後、膜厚約 300 nm で作製したデバイスの SEM 像を Fig. 1 に示した。極低温環境下にお

いて測定した抵抗の温度依存性は、9.0 K と 8.2 K の二段階の超伝導転移を示した。Fig. 2 にマイクロ波非照射時、Fig. 3 に $f=20$ GHz のマイクロ波照射時の電流-電圧($I-V$)曲線それぞれを示す。4.2 K~8.0 K で JJ 特有の直流・交流ジョセフソン効果を観測し、JJ の形成が確認された。従って、一段の段差を用いた JJ の液体ヘリウム温度以上での動作を実証した。

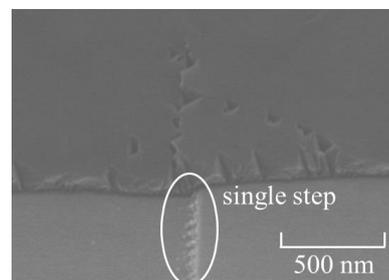


Fig.1 SEM image

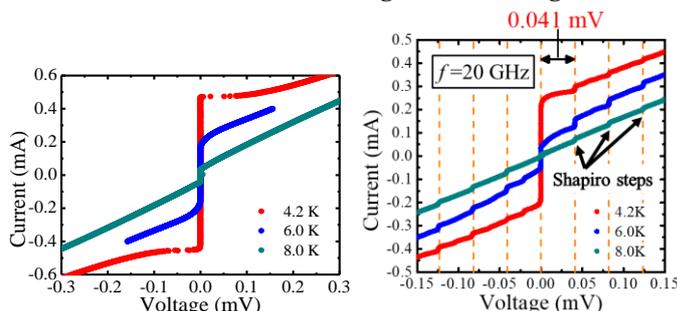


Fig. 2 $I-V$ characteristics without microwave Fig. 3 $I-V$ characteristics with $f=20$ GHz

4. その他・特記事項(Others)

- ・早稲田大学微細加工プラットフォーム (F-19-WS-0200)

NIMS 微細加工 PF の吉田美沙氏、渡辺英一郎氏には装置ライセンス講習にて操作・使用方法について助言をいただき、NIMS ナノフロンティア材料グループや超伝導位相エンジニアリンググループの方々には測定や研究方針に関して助言をいただいたき大変感謝しております。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

- (1)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 (口頭, 2019 年 9 月 20 日)
- (2)高橋泰裕, 川原田洋 他, 第 33 回ダイヤモンドシンポジウム (ポスター, 2019 年 11 月 14 日)

6. 関連特許(Patent)

なし