

課題番号 : F-18-NM-0100
利用形態 : 機器利用
利用課題名(日本語) : 集束イオンビームを用いたダイヤモンド超伝導量子干渉計の作製・評価
Program Title(English) : Diamond superconducting quantum interference device using FIB etching process
利用者名(日本語) : 露崎活人
Username(English) : I. Tsuyuzaki
所属名(日本語) : 早稲田大学大学院基幹理工学研究科
Affiliation(English) : Faculty of Science & Engineering, 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、超伝導デバイス、ダイヤモンド

1. 概要(Summary)

超伝導デバイスの応用において、液体ヘリウム温度以上で動作するデバイスは有用である。しかしながら、超伝導ダイヤモンドは物理的・化学的に安定で堅牢であるというユニークな特徴をもつ一方で、液体ヘリウム温度以上で動作するデバイスの報告はなかった。本研究では、集束イオンビーム(FIB)を用いて作製した浅い段差を作製した。そして、そのトレンチ上に超伝導ダイヤモンドを選択エピタキシャル成長させることで(111)面同士の衝突によるグレインバウンダリを形成した超伝導量子干渉計(SQUID)を作製し、液体ヘリウム温度以上での動作を実証した。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】 レーザー露光装置、12 連電子銃型蒸着装置、ワイヤーボンダー

【実験方法】

(111)ダイヤモンド基板に NIMS 精密計測実験棟の集束イオンビームを用いて微細なトレンチを作製した。その後、NIMS 微細加工 PF のレーザー露光装置や EB 蒸着装置を用いて選択エピタキシャル成長用のマスクを作製した。早稲田大学川原田研究室では、トレンチを横断する形でボロンドープ超伝導ダイヤモンド層を選択エピタキシャル成長することで (111)面の衝突を有する SQUID を作製した。測定の前には、ワイヤーボンダーにより基板・サンプルホルダー間を配線した。電気測定には、NIMS 超伝導位相エンジニアリンググループの液体ヘリウム冷却装置を用いた。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

FIB プロセスにより作製した 27 nm の段差上に超伝導ダイヤモンドを 500 nm 成長させて SQUID を作製し、電気特性をそくていった。Fig. 1 に示した抵抗・温度特性

からトレンチ外とトレンチ上の超伝導ダイヤモンドにそれぞれ対応する転移温度 10 K と 8 K の二段階超伝導転移が観測された。これは従来構造の 2 倍以上の動作温度域が期待できる。さらに、Fig. 2 では磁場に反応した電圧の振動が観測された。この周期は SQUID 径である $68 \times 68 \mu\text{m}^2$ から算出した理論値 $0.45 \mu\text{T}$ に一致した。したがって、液体ヘリウム温度以上で動作するダイヤモンド SQUID の作製および動作実証に成功した。さらに、磁気感度につながる電圧振幅が従来のダイヤモンド SQUID よりも大きく、実際の装置への応用が期待できる。

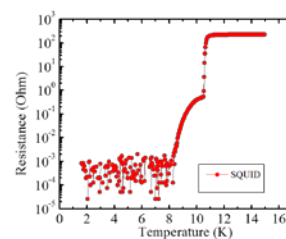


Fig.1 R-T characteristics

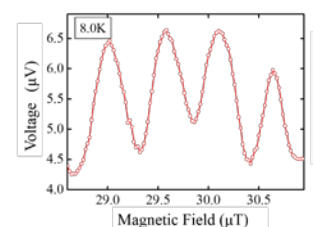


Fig.2 Φ -V characteristics

4. その他・特記事項(Others)

本研究は日本学術振興会の基盤研究 S:26220903、17H07192 および B: 17H03526 助成により達成された。NIMS 微細加工 PF の大里啓孝氏には微細加工法に関する助言、また 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皆様には測定や研究方針における助言をいただいたことに深く感謝いたします。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

(1) T. Kageura, I. Tsuyuzaki, H. Kawarada, *et al.*, Diam. Relat. Mater. 90, 181 (2018).

6. 関連特許(Patent)

なし