

研究種目：特定領域研究

研究期間：2006～2009

課題番号：18080003

研究課題名（和文） 二硼化マグネシウム超伝導接合技術の確立

研究課題名（英文） Foundation of MgB₂ superconducting junction technology

研究代表者

内藤 方夫 (Naito Michio)

東京農工大学・大学院共生科学技術研究院・教授

研究者番号：40155643

研究分野：超伝導工学及び超伝導材料科学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎／応用物性・結晶工学

キーワード：超伝導材料・素子、低消費電力・高エネルギー密度、テラヘルツ／赤外材料・素子、トンネル現象、単一光子検出

1. 研究計画の概要

本研究課題は、2001年に発見された MgB₂ ($T_c \sim 40\text{K}$) を用いた超伝導接合の作製技術を確立し、「ポストニオブ」超伝導エレクトロニクスの基盤を築くことを目的とする。

2. 研究の進捗状況

(1) MgB₂ ジョセフソン接合作製技術の開発において、最初のステップは高品質エピタキシャル薄膜成長技術の確立である。本研究では2006-2007年度に MgB₂ 薄膜成長のための分子線エピタキシー (MBE) 装置の製作・立ち上げを行った。本装置は超高真空中で Mg、B、及び、バリヤ材料に使用されるすべての元素を電子ビーム蒸発により供給するように設計されている。また、最先端の電子衝撃発光分光装置の導入により高精度蒸発レート制御が可能である。この MBE 装置を用い、200°C の低温成長で、再現性良く高品質 MgB₂ 薄膜を成長している。

(2) 2008年度からは、サンドイッチ型の MgB₂ 接合作製に向けて、下部 MgB₂ 電極／バリヤ材料／上部 MgB₂ 電極の三層積層に取り組んでいる。接合作製の観点から最も簡単なバリヤはアモルファスボロン (a-B) またはアモルファスシリコン (a-Si) である。a-B、a-Si とともに結晶化を避けるために低温で堆積を行った (a-B は 200°C、a-Si は 90°C 以下)。また、その膜厚は 50 Å-400 Å とした。反射電子線回折 (RHEED) により三層積層の一連の成長を監視している。アモルファス層成膜後 RHEED パターンはいったんハローとなるが、

上部 MgB₂ の堆積後には再び単結晶を示すスポットパターンとなる。得られ三層膜の上下 MgB₂ 電極の超伝導特性は単一膜の特性と遜色はない。同じ特定領域に属する名大・藤巻研究室との共同研究により MgB₂/a-B/MgB₂ 接合特性を評価したが、超伝導電流が小さいながら観測され、また、マイクロ波照射により鮮明にシャピロステップが観測されたことから、リーク電流でなくジョセフソン電流であることが確認されている。また、マイクロ波のパワーによってはジョセフソン電流が完全に抑制されたことから考えて、余剰電流は少ないと判断される。30GHz でも 3 次、4 次程度のステップまで見えており、高周波応答が期待される。また、準粒子特性を反映した非線形抵抗特性も確認された。

(3) 積層型接合においては、バリヤ層と上部・下部電極の界面で MgB₂ の超伝導性をいかに保持するかが最も重要な課題である。界面での MgB₂ の良好な超伝導性を保持するには、バリヤ材料として MgB₂ と化学的かつ構造的にも似た物質を選ぶことが賢明である。MgB₂ と同構造の AlB₂ 型硼化物の中で、AlB₂・TiB₂ は格子整合も良く、MgB₂ とのヘテロエピタキシャル成長によりオールエピタキシャルの SNS 接合作製に取り組んでいる。

3. 現在までの達成度

② おおむね順調に進展している。

(理由)

当初計画では 2007 年度に MgB₂ 接合の作製・評価を開始する予定であったが、実際に

は 2008 年度まで遅れた。しかし、特定領域内の連携により、名大・藤巻研究室と共同して接合作製・評価を進める態勢を整え、現在、格段に効率よく研究が進展しており、急速に遅れを取り戻しつつある。当初の目的であった、SIS 接合以外に、オールエピタキシャル SNS 接合の研究にも取り組んでおり、全体としてみれば、上記の「おおむね順調に進展している」という達成度となる。

4. 今後の研究の推進方策

(1) SISトンネル接合及びSNS接合に対するバリア材料の最適化を進める。SIS接合のバリア材料としては、これまでに試みたa-B、a-Siに加えて、AlN、BNの窒化物、Al₂O₃、MgO、CaOの酸化物、MgF₂、CaF₂等を試みる。オールエピタキシャルSNS接合については、MgB₂と同構造の導電性硼化物が多くあるため、当初、選択の範囲が広いと考えられた。しかし、MgB₂の成長温度が200°C程度と低温であるため、バリア材料にも低温成長が求められる。これまでに試みた硼化物のうちAlB₂は高温成長が必要であるため三層積層が困難である。今後はTiB₂を軸に研究を進めるが、さらなる硼化物バリア材料探索も必要である。

(2) MgB₂の2ギャップ性の制御を行う。大ギャップを抽出するには、接合ジオメトリーの工夫が必要であり、ランプエッジ型の平面接合を試みる。

(2) MgB₂はサブミクロンまでの微細加工に耐える材料であるため、マイクロストリップライン応用へ向けた取り組みも行う。微細加工技術を確立し、テラヘルツ波ミキサ、超伝導単一光子検出器への展開を視野に入れる。

5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計6件)

- ① T. Ishibashi, T. Kawata, A. Tsukada, H. Shibata, M. Naito, K. Sato, “Magneto-optical observation of magnetic flux in patterned MgB₂ films”, Physica C Vol. 468, p. 1313-1315, 2008, (2008) 1313-1315, 査読有.
- ② M. A. Tarasov, E. A. Stepantsov, M. Naito, A. Tsukada, D. Winkler, A. S. Kalabukhov, M. Y. Kupriyanov, J. Exp. Theor. Phys. Vol. 105, 636-641, 2007, 査読有.
- ③ K. Ueda, S. Saito, K. Semba, T. Makimoto, M. Naito, Jap. J. Appl. Phys. Vol. 46, p. L271-L273, 2007, 査読有.

- ④ S. Cherednichenko, V. Drakinskiy, K. Ueda, M. Naito, “Terahertz mixing in MgB₂ microbolometers”, Appl. Phys. Lett. Vol. 90, Art. No. 023507, 2007, 査読有.
- ⑤ E. Stepantsov, M. Tarasov, M. Naito, A. Tsukada, D. Winkler, “Grain boundary weak link in a-b plane in MgB₂ film”, Appl. Phys. Lett. Vol. 89, Art. No. 213111, 2006, 査読有.
- ⑥ 内藤方夫, 「MgB₂薄膜・接合作製の現状とデバイス応用への展望」, 低温工学, 41巻, 463-473, 2006, 査読有.

[学会発表] (計4件)

- ① 石井林太郎、新原佳紘、内藤方夫、分子線エピタキシー法による AlB₂/MgB₂ 積層構造の作製、第56回応用物理関係連合講演会、2a-F-9、つくば大学、2009年4月.
- ② 石井林太郎、新原佳紘、東田昭雄、内藤方夫、“SNS接合のためのAlB₂薄膜の作製”、第69回応用物理学会学術講演会、2p-ZM-2、中部大学、2008年9月.
- ③ 石井林太郎、檜舘英知、東田昭雄、内藤方夫、“分子線エピタキシー法によるMgB₂薄膜の作製”、第55回応用物理関係連合講演会、27p-ZY-4、日本大学船橋キャンパス、2008年3月.
- ④ M. Naito, R. Ishii, “MBE growth of MgB₂”, Superconducting SFQ VLSI Workshop (SSV2008), A1-3, 2008. 3, Yokohama.

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

[その他]