【104】

| | |
|---|---|
| 氏　名(本　籍) | 文　忠　民(ぶん　ちゅう　みん)(中　国) |
| 学位の種類 | 工　学　博　士 |
| 学位記番号 | 博　甲　第　894　号 |
| 学位授与年月日 | 平成3年3月25日 |
| 学位授与の要件 | 学位規則第5条第1項該当 |
| 審査研究科 | 工　学　研　究　科 |
| 学位論文題目 | 高温酸化物超伝導体薄膜ジョセフソン接合に関する研究 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 主　査 | 筑波大学教授 | Ph.D博士 | 井　口　家　成 |
| 副　査 | 筑波大学教授 | 理学博士 | 作　道　恒太郎 |
| 副　査 | 筑波大学教授 | 理学博士 | 浅　野　　肇 |
| 副　査 | 筑波大学教授 | 工学博士 | 滝　田　宏　樹 |
| 副　査 | 筑波大学助教授 | 工学博士 | 村　上　浩　一 |

## 論　文　の　要　旨

本論文は，酸化物高温超伝導体のエレクトロニクスへの応用を念頭において，高温超伝導薄膜の作製法を確立，また薄膜を積層あるいは加工してジョセフソン接合を実現し，その特性を調べることを研究の目的としている。内容はしたがって酸化物高温超伝導体薄膜の作製，接合の形成，その特性の測定に至るまでの研究が一貫してまとめられている。研究対象としたジョセフソン接合は Bi (Pb) SrCaCuO 薄膜の粒界接合及び YBaCuO 薄膜のトンネル接合である。前者は薄膜の粒界に自然に形成される接合であるが，Bi系薄膜の場合，材料の問題のためかその報告はほとんどない。また後者についてはこれまで世界でもその試みが成功していないジョセフソントンネル接合を目指してYBaCuO／バリヤ／Pb の本格的薄膜サンドイッチ接合である。

はじめに薄膜の作製法の研究であるが，Bi (Pb) SrCaCuO 薄膜についてはrf マグネトロンスパッタリング法によってこれを作製した。Pbを少量ターゲットに添加することにより成膜し，これを熱処理して転移温度 $T_c$ が最高104Kの薄膜が得られている。最適な薄膜を成長させるために，スパッタリング時の基板温度，ターゲット組成，アニーリング温度をパラメータとして詳細な研究を行っている。その結果，100K以上の超伝導体は基板温度700℃，アニール温度886℃のときに得られ，この温度より5℃程度高くあるいは低くなると $T_c$ の高い膜が得られなかったとしている。Bi系酸化物超伝導体の高温相を実現させる条件は極めて限られたものであることが判明した。

一方 YBaCuO 薄膜については酸素ガスを導入しての電子ビーム・抵抗加熱の同時蒸着法によって行っている。Y，Ba を電子銃，Cu を抵抗加熱で蒸発させ，MgO，$SrTiO_3$，$LaSrGaO_4$ 基板上に in situ で YBaCuO 薄膜を堆積させることに成功した。MgO (100)，$SrTiO_3$ (100) を用いたときは，C

軸配向膜また$LaSrGaO_4$（100）を用いたときは，a，b軸配向膜が得られ，何れの$T_c$も80K以上を示した。

デバイス構造を作製するためには，薄膜をミクロ加工してブリッジ型接合にするかあるいは高温超伝導薄膜の上にバリヤ，対向電極となる薄膜を積層してサンドイッチ型接合にする必要がある。Bi (Pb) SrCaCuO薄膜の場合，フォトリン加工をしてマイクロブリッジ2つを含む直流SQUIDを作製した。ジョセフソン電流，量子干渉効果が観測されたが，高温超伝導体におけるジョセフソン効果を詳しく調べるため，種々の幅をもつブリッジの（0.5〜12μm）SQUIDを作製し，諸種の特性を測定している。その結果は，dc SQUIDのブリッジ部分が数多くの粒界接合から成っているとするモデルにより定性的に説明できることがわかった。

一方，YBaCuO薄膜を用いたYBaCuO／バリヤ／Pbのトンネル接合は，真空槽中で蒸着，マスク交換をすべて行うall-in-situ作製法を用い，作製した。バリヤとして$MgO$, $Y_2O_3$, $AlO_x$の人工バリヤ及び自然バリヤを試みた。ジョセフソン電流は種として接合抵抗の低くなる自然バリヤ接合に出現した。自然バリヤは酸素雰囲気中でin situアニールすることにより成長させた。観測されたジョセフソン電流は50μA-3mAで，接合の電流－電圧特性は，YBaCuO膜がC軸配向かa，b軸配向かによって大きく異なることが示された。C軸配向の場合，非線形性が弱くブリッジ的な特性になったのに対し，a，b軸配向膜では非線形性が強く電圧ジャンプが観測され，通常のジョセフソン効果（トンネル型）に似た現象となることがわかった。またマイクロ波照射に対してシャピロステップが観測された。その電流ステップの高さとマイクロ波電圧の関係は通常のベッセル関数的ふるまいと似たものになった。さらに接合断面に垂直方向に磁場をかけるとジョセフソン効果特有なフラウンホーファ回折パターンが観測された。以上の結果は，高温超伝導体のジョセフソントンネリングが通常のジョセフソン効果から予想される結果に近いことを示すものであるが，その詳細についてはかなり異なった部分もあることが指摘された。たとえば電流－電圧特性におけるジャンプは見かけ上Pbのギャップ特性にブロックされているようだし，またジョセフソン電流（最大）の温度依存性が極めて異常であるなどである。

## 審　査　の　要　旨

酸化物高温超伝導体を用いるデバイスの開発は，コヒーレンス長が極端に短い，表面が劣化しやすいことなどにより現在大変難しく，しかも原理となる動作の実体も明らかではない。ジョセフソン接合についてはこれまでにも多くの報告があるがそれはほとんどすべて粒界接合，近接効果接合に限られている。本論文は，このような状況下で，接合に適する薄膜作製研究から始め，薄膜をその場積層する技術を確立し，ジョセフソントンネル接合を実現した。そしてジョセフソン効果に特有なシャピロステップ，フラウンホーファパターンなどを観測できるまでに至ったことは世界でも例がなく大変価値がある。またこの複雑な酸化物超伝導体の接合の再現性という点でもデバイス開発へのステップを提供したといえる。さらにBi (Pb) SrCaCuOの直流SQUIDに関しては，YBaCuOのSQUIDと異な

り，粒界接合の形成が難しいためその報告は極めて少なかった。再現性ある粒界接合の作製法に成功し，しかもブリッジ幅等パラメータを変えたシステマティックな測定によってその物理的な実体をより明確にしたことは，学問として十分価値がある。

よって，著者は工学博士の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。