



| | |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Title | 反応性分子線共蒸着法によるBi系高温超伝導酸化物積層薄膜の作製および電気特性に関する研究 |
| Author(s) | 祁, 陽 |
| Citation | 大阪大学, 2000, 博士論文 |
| Version Type | |
| URL | https://hdl.handle.net/11094/42142 |
| rights | |
| Note | 著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed 大阪大学の博士論文について |

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

| | |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 氏名 | 祁 陽 |
| 博士の専攻分野の名称 | 博士(工学) |
| 学位記番号 | 第 15453 号 |
| 学位授与年月日 | 平成12年3月24日 |
| 学位授与の要件 | 学位規則第4条第1項該当 工学研究科電気工学専攻 |
| 学位論文名 | 反応性分子線共蒸着法によるBi系高温超伝導酸化物積層薄膜の作製および電気特性に関する研究 |
| 論文審査委員 | (主査) 教授 伊藤 利道 |
| | (副査) 教授 松浦 虔士 教授 熊谷 貞俊 教授 辻 毅一郎 教授 平尾 孝 教授 佐々木孝友 教授 山中 龍彦 教授 中塚 正大 教授 萩行 正憲 助教授 堀 一男 |

論文内容の要旨

本論文は、反応性分子線共蒸着法によるBi系酸化物超伝導薄膜の高品質化、その固有ジョセフソン効果並びに超伝導体-絶縁体転移に関する研究成果をまとめたもので、以下の6章から構成されている。

第1章では、酸化物高温超伝導体の特徴や新規デバイス開発の現状を述べ、本論文の意義と目的を明らかにしている。

第2章では、反応性分子線共蒸着装置や高濃度オゾン濃縮装置を開発することにより、Bi系酸化物超伝導薄膜の成長過程を検討している。MgO単結晶基板上へ成長したBi系薄膜について三角相図上で解析した結果、成膜温度が約710°C、オゾン分圧が 2×10^{-5} Torrで、Bi2212単相の結晶薄膜が成長できることを明らかにしている。また、0.75 nm/分以下の成長速度では、薄膜表面の最大ステップ高さが数nm以下、X線回折スペクトル半値幅が0.3°以下となる高品質薄膜を得、更にBi系の緩和層の挿入により最大ステップ高さ約3 nm以下に抑制できること等更なる高品質化に成功している。

第3章では、Bi系薄膜に対して、4.2Kから室温にわたり電気抵抗及び磁化特性の温度依存性を調べ、MgO単結晶基板に直接成長したBi2212単相薄膜の超伝導転移温度が、従来の最高値を更新する試料の作製に成功している。また、Bi系緩和層を介したBi系成長膜では転移温度が更に向上し強い2次元性を有すること等より、緩和層挿入の有効性を明らかにしている。

第4章では、高品質(Bi2212)_{0.7}(Bi2201)_{0.3}混晶薄膜の電気的特性の温度依存性及び膜厚依存性を調べた結果、その超伝導-常伝導転移は正負の渦糸の励起と結合を用いたKosterlitz-Thouless相転移で記述でき、超伝導体-絶縁体転移を示す膜厚が約44nmであることを明らかにしている。また、(Bi2212)_{0.99}(Bi2201)_{0.01}混晶薄膜やBi2212単相薄膜でも膜厚に依存した超伝導体-絶縁体転移が観測されることも見い出している。

第5章では、(Bi2212)_{0.7}(Bi2223)_{0.3}混晶薄膜の電流-電圧特性の温度依存性を調べた結果、零電圧で約100mAのジョセフソン臨界電流を示す混晶Bi系試料を初めて得ることに成功し、混晶Bi系における2次元性と固有ジョセフソン効果との相関を明らかにしている。

第6章では、本研究で得られた成果をまとめ結論としている。

論文審査の結果の要旨

Bi系高温超伝導酸化物は、低消費電力で超高速動作が可能なジョセフソン素子の次世代材料として期待されているが、その実現のためには高品質のBi系超伝導体薄膜をヘテロ基板上で形成できる作製プロセスの開発が不可欠である。本論文は、制御性の良い反応性分子線共蒸着法に基づいたBi系酸化物の薄膜作製装置を開発することにより、従来にはない高品質の積層薄膜を、実用的基板の一つと考えられているMgO(100)上に形成し、電気的特性等の基礎物性を調べることを目的として行った研究成果をまとめている。特に、従来は殆ど取り扱われなかったBi系混晶薄膜試料を、2次元的構造に起因する固有ジョセフソン効果の観測対象として初めて取り上げるとともに、膜厚に依存する超伝導体-半導体転移現象についてもBi系混晶薄膜では初めて議論している。本研究で得られた主な成果は以下の通りである。

- (1) 経時変化が少なく流速がほぼ揃った分子線蒸着源と高濃度オゾン源を開発することにより、MgO(100)基板上へのBi2212相の単相薄膜形成過程を調べ、高品質Bi2212相薄膜が成長するための基板温度、オゾン分圧や成膜速度等の最適な形成条件、並びに緩和層挿入効果を明らかにするとともに、従来報告値を凌駕する結晶性や表面平坦性を有するBi系超伝導酸化物薄膜試料を得ることに成功している。
- (2) それら単相試料の電気的特性および磁気的特性を解析した結果、緩和層がない試料では、超伝導転移温度が63Kに、Bi2212/Bi2201からなる緩和層を挿入した試料では、70Kに向上しているが、これらの転移温度は、いずれも従来報告の最高値を更新するものである。従って、物性論的見地からも高品質であるBi2212単相薄膜が得られている。
- (3) $(Bi2212)_{0.7}(Bi2201)_{0.3}$ 混晶薄膜に対して、電気的特性の膜厚依存性を調べることにより、膜厚が40nm以下では、極低温でも超伝導に転移せず半導体(絶縁体)のままであるが、44nm以上では極低温では超伝導体に転移することを、混晶薄膜系で初めて見い出し、他の組成のBi系混晶に対しても類似現象を観測している。また、これらの現象がKosterlitz-Thouless型転移で説明できることを提案している。
- (4) MgO(100)基板上に緩和層を介して成長させた高品質 $(Bi2212)_{0.7}(Bi2201)_{0.3}$ 混晶薄膜に対して、アルゴンイオンエッティング加工法を用いてメサ型構造の素子を作製することにより、Bi系酸化物超伝導体の強い2次元性に由来する固有ジョセフソン効果を混晶薄膜で初めて観測している。また、得られた高品質混晶薄膜素子の特性は、既報のバルク単結晶素子の場合と比較しても非常に優れている。
- (5) 固有ジョセフソン効果を特徴付ける超伝導エネルギーギャップの大きさを、観測した電流-電圧特性から解析することにより、超伝導臨界電流値で関係付けられるエネルギーギャップの値(64meV)が準粒子トンネル分光法によって求められるエネルギーギャップの値(66meV)とよく一致することを見い出している。

以上のように、本論文は、Bi系高温超伝導酸化物の実用化に不可欠なヘテロ基板上への高品質薄膜成長プロセスの開発に成功し、従来にはない結晶学的品質と電気的磁気的特性とを有する薄膜成長が行えることを実証している。また、開発した作製法を用いて、実用的なMgO基板上に成長した高品質Bi系混晶薄膜に対し、その電気的特性を評価・解析することにより、固有ジョセフソン効果、並びに膜厚に依存する超伝導体-半導体転移に関する新たな知見を得ている等、高品質Bi系酸化物混晶薄膜の重要性や有用性を明らかにしている。これらの研究成果は、電気工学、特に電気・電子材料工学の発展に寄与するところが大きい。よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。