

## 審査の結果の要旨

氏名 甲斐 正彦

超電導磁気浮上式鉄道(MAGLEV)用として検討されているBi系酸化物高温超電導マグネットは 20Kで使用されることが想定されており、そのシステム化に必須となる永久電流スイッチ(PCS)に関しても幾つかの方式が提案されている。本研究では様々な観点から 40-60Kで作動する熱式PCSが最適であるとの判断から、液相エピタキシー(LPE)法によるREBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>y</sub>(RE123)厚膜の形状及び特性制御を基本としたPCS作製プロセスを提案し詳細に検討したものである。本論文は全5章より構成されている。

第1章は序論であり、本研究の背景、及びPCSについて詳述するとともに、RE123系酸化物超電導体をPCS材料として選定した理由について述べ、本研究の位置付け及び目的を明確化している。

第2章では、PCSに要求される仕様の1つである常電導状態時の高抵抗を目指したLPE法によるミアンダ型RE123膜作製において、パルスレーザー堆積(PLD)法による中間層・シード層形成とLPE法による厚膜堆積を形状制御の観点から検討している。特に、MgO(100)単結晶基板上に基板溶解抑制にも有効である面内配向BaZrO<sub>3</sub>(BZO)中間層を約0.3~0.5 $\mu$ m堆積し、更に約0.1~0.3 $\mu$ m堆積したシード層をパターン化した基板を用いLPE膜を成膜する過程での膜端部の成長に関して詳細な観察とモデル化を行っている。成長初期ではBZO上とRE123上での成長ステップの前進速度の違いによりバンチングが起こるが、成長モードが定常成長に移行するに従い、沿面成長速度はBZO上の表面拡散流束とRE123結晶の $ac$ 面上の表面拡散流束の和に比例することとなるため、成長時間をパラメータとした形状制御が可能であることを見だし、BZO中間層と形状制御シード層を利用したミアンダ型RE123 LPE膜作製法の有効性を提示している。

第3章では、PCSのスイッチング時間短縮を目的として、40~60Kに超電導臨界温度( $T_c$ )を制御し、かつ超電導転移温度幅を狭め、要求される臨界電流密度( $J_c$ )を劣化させないRE123膜を作製するための第3元素添加について検討している。具体的には、添加する第3元素にZnを選定し、LPE溶液のZn濃度分布に関する考察や界面の組成分析結果から、初期不均一層の厚さは70nm程度となるためZn濃度の膜中濃度制御は可能であるとしている。また、Zn添加RE123 LPE膜の超電導特性に関しては、ZnとCuの濃度比を0.03-0.05とすることにより $T_c$ を40-60Kまで制御可能なことを見だし、スイッチングの際のエネルギー効率についても効率的であることから、MAGLEV用PCSに使用可能であるとしている。

第4章においては、RE123膜とBi系超電導線材を接続する低接触抵抗電極開発に関する検討を行っている。PCSは超電導コイルと直列に繋がれるため、接続抵抗が大きい場合、発熱により最終的にマグネットをクエンチさせる可能性まで有している。そこで、RE123膜とBi系超電導コイルを接続する電極部分の接触抵抗率を  $10^{-11}$   $\text{m}^2$ 程度まで低下しうる電極作製をスパッタ堆積法により検討している。具体的には、Ag-1.09wt%Cu電極を用いることにより、RE123 LPE膜と電極との界面反応が抑制されかつ接触抵抗率を  $1.7 \times 10^{-12}$   $\text{m}^2$ まで低下しうることを見だし、本組成においてRE123とAg-Cu合金中のCuの化学ポテンシャルがほぼ等しくなるためであると推定している。当該低接触抵抗電極の開発により、Bi系超電導線材とRE123膜との接触抵抗の低減が図れるだけでなく、RE123膜同士を直列や並列に接続する際の電極としても使用することが可能となるため、さらなる大電流化、高抵抗化にも対応可能としている。

第5章は総括であり、本研究を要約するとともに、今後の展望においてRE123 LPE膜のPCS応用の実現性や、それにとまなう今後の課題について述べている。

以上を要するに、本研究は超電導磁気浮上式鉄道での使用を想定したRE123膜永久電流スイッチのプロトタイプ的设计試作を通じて問題点を洗い出し、材料プロセス工学的観点からその解決策を提示するのみならず、将来実機に適用する際の仕様策定に有益となる様々なデータを提示したものであり、材料工学に対する貢献は大きい。よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。