

塗布熱分解法によるイットリウム系高温超伝導線材 のナノ組織制御と磁場中性能向上に関する研究

木村, 一成

<https://doi.org/10.15017/1500753>

出版情報：九州大学, 2014, 博士（工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：全文ファイル公表済

氏 名 : 木村 一成

論 文 名 : 塗布熱分解法によるイットリウム系高温超伝導線材のナノ組織制御と磁場中性能向上に関する研究

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

電気は現代において私たちの生活を豊かにするだけではなく必要不可欠なものである。我が国の層変電システムは世界トップレベルの高効率を有するが、発電した電力が使用されるまでに約 5% のエネルギー損失があると言われている。また、原子力発電所の事故などもあり、電力が非常に貴重なものであることが再認識させられ、電力をロスなく輸送する技術が求められている。

超伝導体は臨界温度 T_c 、臨界磁場 B_c 、臨界電流密度 J_c 、の 3 種の臨界条件の領域内であれば、損失をほとんど無視できる状態で銅やアルミなど常伝導金属の 100 倍以上の電流密度によって大電流の輸送が可能となる。例えば、送電ケーブル等に超伝導体を利用することができれば、電力を効率よく運ぶことができる上に、省スペース化にも繋がる。また、MRI(Magnetic Resonance Imaging) 装置に代表される超伝導技術は医療分野においてはすでに広く活用されている。一方で、これまで普及している超伝導装置は極低温での運転が不可欠であり、冷却には液体ヘリウムを必要とするが、ヘリウムは国際的に戦略物資と位置づけられていると同時に、近年資源の枯渇から価格の上昇や安定供給の問題が喫緊の課題として顕在化している。このような背景のもと、従来の金属系超伝導体に比べ高い動作温度での運転が可能となる酸化物高温超伝導体は、電力や医療分野における応用が検討されている。ここで、超伝導マグネットなどの応用機器では、超伝導線材は自己磁場や外部磁場が印加された状態で使用されることになるため、磁場中においてより優れた性能を有する線材が求められている。

本研究ではイットリウム(Y)系酸化物高温超伝導体に着目した。Y 系高温超伝導体は、 T_c が液体窒素温度よりも高い 90 K を有し、他の高温超伝導体に比べて 2 次元的異方性も小さく、高温磁場中での臨界電流特性に優れている。さらに、損失発生の起源となる量子化磁束の運動を止めるナノサイズの磁束ピン止め点を人工的に導入することにより、磁場中での性能をさらに向上することが可能である。しかしながら、優れた磁場特性を有する Y 系線材を低コストにかつ長尺に亘って安定に製造するプロセス技術は未だ確立されていない。本研究では、低コストプロセスとして世界中で熾烈な開発競争が進められている三フッ化酢酸塩塗布熱分解法(Trifluoroacetate Metal Organic Deposition: TFA-MOD)を採用し、Y 系高温超伝導テープ線材の高性能化のためのナノ組織制御技術の確立と長尺線材作製法について検討すると共に、磁場下の電流輸送特性の詳細な評価によってナノ欠陥による磁束ピン止めの機構を明らかとした。さらに、得られた線材を集合導体化した電流リードの開発を行った。

本論文は全六章からなる。

第一章では、本研究の背景や研究課題を述べた後、これまでに報告されている研究成果についてまとめた。また、研究目的、論文構成について述べた。

第二章では、三フッ化酢酸塩を用いた TFA-MOD 法における本焼工程に中間熱処理を用いたピン止め点導入プロセスを開発し、その結晶成長過程を実験および平衡論及び速度論的解析によって世界で初めて明らかとした。

第三章では、第二章で得られた知見を作製条件にフィードバックする事によって、5 cm 程度の短尺試料を小型炉を用いて作製し、ナノサイズの微細欠陥を均一に分散するプロセス条件を明らかにすると共に、磁場下の電流輸送特性を詳細に解析し、ナノ欠陥による磁束ピンニング機構を明らかとすることによってプロセス条件の適正化を行った。その結果、TFA-MOD 法による超伝導テープ線材において世界最高の磁場中 J_c を実現した。

第四章では、第二章および第三章における短尺試験試料を用いた実験で得られた知見を活用・発展させ、長尺線材作製のための大型炉を用いたプロセスに展開した。電気炉内の均一性制御や長尺特性均一性など大型炉特有の課題を解決しつつ、適正化した本焼条件によって、100 m 級長尺線材において短尺線材と同様の世界最高性能を実現することに成功した。

第五章では、第四章までの成果によって得られた人工ピン止め点を導入した Y 系超伝導線材の応用例として、500 A 級の超伝導電流リードを設計・製作し、連続通電試験やヒートサイクル試験を行い、その性能を評価した。その結果、従来のバルク材を用いた電流リードを遙かに凌駕する高信頼性と小型化を実現でき、高性能電流リードとして製品化に成功した。

第六章では、本論文を総括し、まとめた。また、本研究の今後の展望についても述べた。