

研究成果報告書

研 究 題 目		省エネルギー型電気自動車モータへの応用を 目指した高機能性高温超電導材料の開発	実 施 年 度 平成 24-25 年度
代 表 研 究 者	所 属	米子工業高等専門学校 電気情報工学科	
	氏 名	田 中 博 美	印
1. 研究の目的・背景			
<p>【研究の学術的背景・特色】</p> <p>超電導体は通電時の熱損失がゼロであるため“究極の省エネルギー材料”として注目を集めている。特に高温超電導体は臨界温度が高く液体窒素温度で使用可能である。そのため、電力ケーブルや電気自動車用モータなど線材を用いた応用が期待されている。</p> <p>現在、高温超電導線材の開発分野においては $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ (Y 系)高温超電導体が盛んに行われている。これは、臨界電流密度(J_c)の磁場・温度特性が良いためである。しかしながら、実際の作製においては多くの問題点を抱えている。一方、$\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_y$($n=1-3$)(Bi 系) 高温超電導体は作製が非常に容易である。また、レアアースを含まないため、資源上の問題も少ない。しかしながら J_c 特性が不十分であり、応用範囲が限定されている。そこで、Bi 系高温超電導体の J_c 特性を改善するための研究を行う。</p> <p>【研究の目的】</p> <p>本研究では特に、Bi 系高温超電導体が“本来持つ J_c”の向上を目的とする。“本来持つ J_c”とは、結晶粒界を含まない領域での J_c 特性であり、いわゆる“粒内 J_c”のことである。この粒内 J_c についての厳密な知見を得るためには、単結晶を用いた実験が必要である。そこで、我々はウィスカーに着目した。</p> <p>ウィスカーは完全結晶として知られており、J_c 特性が粒界の影響を受けない。そのため粒内 J_c に関する研究対象としては最適である。粒内 J_c の増大は、高温超電導線材の最小構成単位である単結晶粒の J_c 増大とイコールであり線材 J_c の改善に大きく寄与できる。従って、本研究で得られた知見を Bi 系超電導線材作製に応用することで、高温超電導体の実用化を一層促進できる。</p> <p>また、ウィスカーの作製には我々独自の手法である“(固溶置換法を利用した)自己組織化ピンニングセンター形成法”を用いる。これにより固溶置換に起因した、局所的な構造歪を誘起できる可能性が高い。また、大型の Bi 系高温超伝導ウィスカーを高効率で作製するため、“気相成長”を取り入れた新手法についても検討した。</p>			

2. 研究成果及び考察（申請時の計画に対する達成度合を織込む）

《研究成果》

本研究では、ASGQP 法(an Al₂O₃-seeded glassy quenched platelet method)を用いて Bi 系高温超電導ウイスカー中の Ca/Sr 置換量を制御し、J_cの向上を試みた。その結果、Ca/Sr 置換量を従来の 25% から 60% まで増大させることに成功した。また、J_c に関して、Ca/Sr 置換量の増大に伴い約 2.3 倍に向上した。これらの結果から、Bi 系高温超電導ウイスカー中の Ca/Sr 置換量をガラス急冷体組成比によって制御するという手法は、J_c 向上に有効であることが明らかとなった。

また、Bi 系高温超電導ウイスカーの高効率作製を実現するため、従来の育成法である液相成長に“気相成長”を加えた新たな手法(Grinded Powder Deposition Method : GOD 法)を提案した。そして、母材粒サイズを系統的に変化させ、その最適化を行った。その結果、母材粒サイズ 0.5×0.5mm² で作製を行うと最も効率良く Bi 系高温超電導ウイスカーが得られることが分かった。育成時間 24h で 5mm の Bi 系高温超電導ウイスカーが得られる。このときの成長速度は 0.21mm/h であり、これまでの最高値 0.12mm/h より 2 倍近く高効率で作製できることが分かった。

《考察》

Ca 不純物の添加量が 50% の時、J_c 値が最大になる。一方で、添加量が 50% を越えると、得られる Bi 系超電導ウイスカーの J_c が急激に減少することが明らかとなった。これは、Ca/Sr 置換量 50% 以上では Bi 系高温超電導ウイスカーに誘起された結晶構造歪の量が過ぎて、超電導電流の経路を阻害するようになったためであると考えられる。

従って、高 J_c - Bi 系高温超電導ウイスカーを作製するために最適な Ca/Sr 置換量があり、その量は 50% 程度であるといえる。

《目標達成度》

申請時の計画に対する達成度は 70% 程度である。これは、計画していた元素置換による高 J_c 化を概ね実現出来たためである。また、実用化に必要な高温超電導体の大型化にも成功した。一方で、高温超電導体と金属導線の複合化については接触抵抗の残留等、未解決の問題があり、今後も引き続き検討が必要である。以上のことから、達成度は 70% 程度であると考えられる。

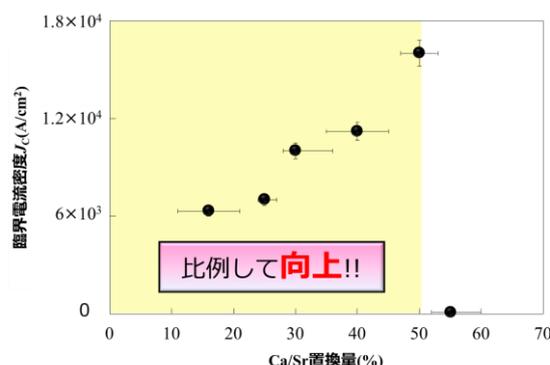


図1 Bi系高温超伝導ウイスカーのCa/Sr置換量とJ_cの関係

3. 経費の使用状況（申請時の計画に対する実績を記述）

	計画	実績	(単位：千円)
設備備品費	240	0	
消耗品費	680	278	
・ 試薬	250	15	
・ 試薬以外	430	264	
借料損料	400	1,097	
旅 費	330	177	
その他	50	63	
間接経費		85	
計	1,700	1,700	

(※) 研究を進める過程で、試料の表面形態を逐一評価する必要が出てきた。そのため、ハイスループット観察が可能な卓上電子顕微鏡が必要となった。従って、設備備品費、消耗品費および旅費の一部を卓上電子顕微鏡の賃借料に充てた。なお当初、予定していた経費には別予算を活用した。

4. 将来展望（今後の発展性、実用化の見込み等について記述）

本研究では Bi 系高温超電導体の粒内 J_c を改善する方法について検討した。その結果、Ca/Sr 置換量を 25～60% の範囲において制御することで J_c を自由に変更可能になった。また、本手法の確立に伴い J_c を従来比で約 2.3 倍に向上させることに成功した。

また、作製した Bi 系高温超電導体の大型化も実現できたことから、超電導 DC モータおよび限流器等への応用が可能となった。

今後は、開発した高 J_c -高温超電導材料と金属導線とを複合化することで高 J_c 線材の作製を試みる。これにより、電気自動車用モータをはじめとする各種電動機器・限流器および送電線の省エネルギー化に貢献でき、エネルギー分野において幅広い実用化が見込める。

5. 成果の発表（学会での発表、学術誌への投稿等を記載。予定を含む）

<原著論文>（査読有）

1) Hideki Yoshikawa, Kazuhiro Yoshihara, Daisuke Watanabe, Hiromi Tanaka, and Sigeo Tanuma;

“Proposal of Common Data Transfer Format for Simulation Softwares of Surface Electron Spectroscopies” : Surface and Interface Analysis (accepted).

2) Yuichi Araki, Hiromi Tanaka, Hiroyuki Muto, Atsunori Matsuda, Go Kawamura, and Hiroyasu Tamai;

“Effect of Catalyzer Replenishment in Growth of Bi-based High-Temperature Superconducting Whisker” : Proc. of International Symposium on Technology for Sustainability **3**, 108(1-4) (2013).

3) Shingo Tomiya, Hiroshi Sumi, and Hiromi Tanaka;

“Growth and Characterization of Bi-based High-Temperature Superconducting Whisker Prepared by Pre-heating method”: J. Jpn. Association for College of Technology, **18**, 21 (2013).

4) Yuichi Araki, Hiromi Tanaka, Hideki Yoshikawai, and Satoru Kishida;

“Novel Method to Enhance Intragrain Critical Current Density in Bi-based Superconductor”: Proc. of International Symposium on Technology for Sustainability **2**, 317 (2012).

<学会発表>

1) Hiromi Tanaka, Hideki Yoshikawa, Yoshio Matsui, and Satoru Kishida;

“Synthesis of Bi-based High Temperature Superconducting Whisker with High Critical Current Density” : 24th International Cryogenic Engineering Conference - International Cryogenic Materials Conference (ICEC24-ICMC2012), Abstracts, (2012).

2) Hiromi Tanaka, Hideki Yoshikawa, and Yoshio Matsui;

“Growth of High Temperature Superconducting Single Crystal with High- Performance Controlling Nanosized Structural Defect” : 9th European Conference on Applied Superconductivity” : International Conference of Young Researchers on Advanced Materials (IUMRS-ICYRAM2012), Abstracts, (2012) EM2-W-P36.

3) Hiromi Tanaka, Hideki Yoshikawa, Yoshio Matsui, and Satoru Kishida;

“Enhancement of intragrain critical current density in Bi-based superconductor by self-assembled two-dimensional nanoplane defects” : International Union of Materials Research Society-International Conference in Asia 2012 (IUMRS-ICA2012), Abstracts, (2012).

4) Hiromi Tanaka, Hideki Yoshikawa, Yoshio Matsui, and Satoru Kishida;

“Improvement of intragrain critical current density in Bi-based superconductor by self-assembled two-dimensional nanoplane defects” : International Union of Materials Research Society-International Conference on Electronic Materials 2012 (IUMRS-ICEM2012), Abstracts, (2012) A-9-P26-006.

- 5) Hiromi Tanaka, Hideki Yoshikawa, and Satoru Kishida;
“Novel Method to Fabricate Intrinsic Josephson Junction Using Hydrogen-Annealing Effect” :
International Conference on Materials for Advanced Technologies(ICMAT2013), Symposium H,
Abstracts, (2013).
- 6) Hiromi Tanaka, Hideki Yoshikawa, and Satoru Kishida;
“Fabrication of Intrinsic Josephson Junction Device Using Hydrogen-Atmosphere Treatment” :
2013 JSAP-MRS Joint Symposia, Symposium A, Abstracts, (2013) 19p-PM1-33.
- 7) Yuichi Araki, Hiromi Tanaka, Hiroyuki Muto, Atsunori Matsuda,
Go Kawamura, and Hiroyasu Tamai;
“Effect of Catalyzer Replenishment in Growth of Bi-based High-Temperature
Superconducting Whisker” : International Symposium on Technology for Sustainability,
Abstracts, (2013).
- 8) Hiromi Tanaka, Hideki Yoshikawa, and Satoru Kishida;
“Advanced Process for Fabricating Intrinsic Josephson Junction using Hydrogen- Atmosphere
Treatment” : International Union of Materials Research Society- International Conference on
Electronic Materials 2014 (IUMRS-ICEM2014), Abstracts, (2014) B2-P-0709.
- 9) 田中 博美, 吉川 英樹, 岸田 悟;
“Hydrogen Storage in High Temperature Superconductor ”:
第 22 回日本 MRS 学術シンポジウム, 講演論文集, 22 (2012) 55.
- 10) 荒木 優一, 田中 博美;
“Bi 系高温超電導ウイスカー育成における触媒補充効果”:
平成 24 年度 電気・情報関連学会中国支部第 63 回連合大会.
- 11) 田中 博美, 吉川 英樹, 岸田 悟;
“ 水素吸蔵効果を利用した固有ジョセフソントンネルデバイスの新規作製法 ”:
平成 25 年 電気学会全国大会, 講演論文集, 第 2 分冊, 62 (2013) 107.
- 12) 田中 博美, 上本 光太, 前田 果澄, 吉川 英樹, 岸田 悟;
“ 母材粉碎法による Bi 系高温超電導ウイスカーの育成 ”:
2013 年秋季 第 74 回応用物理学会学術講演会, 講演論文集, 74 (2013) 45.
- 13) 荒木 優一, 田中 博美, 武藤 浩行, 松田 厚範, 河村 剛, 山神成正, 松田 知
子, 玉井 康博, 岸田 悟;
“ Bi 系高温超電導体における異種元素添加の効果 ”:
2013 年度 応用物理・物理系学会中国四国支部合同学術講演会.
- 14) 松本 凌, 田中 博美, 山神 成正, 玉井 康博, 武藤 浩行, 河村 剛, 松田厚範;

“ 超電導ウィスカー成長機構の解明と制御 ”:

2013 年度 応用物理・物理系学会中国四国支部合同学術講演会.

15) 荒木 優一, 田中 博美, 武藤 浩行, 松田 厚範, 河村 剛, 玉井康博;

“ 表面改質による高温超電導体の特性改善 ”:

2013 年 真空・表面科学合同講演会.

16) 田中 博美, 荒木 優一, 吉川 英樹, 岸田 悟, 玉井 康博;

“ 人工ピンニングセンター導入による Bi 系高温超電導体の電氣的異方性改善 ”:

平成 26 年 電気学会全国大会, 講演論文集, 第 2 分冊, 63 (2013) 97.

17) 荒木 優一, 田中 博美, 武藤 浩行, 松田 厚範, 河村 剛, 玉井康博;

“ Bi 系高温超電導ウィスカーにおける臨界電流密度異方性の改善 ”:

2014 年春季 第 64 回応用物理学関係連合講演会.

他 53 件

<受賞>

1. 平成 24 年 ICYRAM2012 Poster Award
2. 平成 24 年 IUMRS-ICEM2012 Silver Award
3. 平成 25 年 社団法人電気学会 優秀論文発表賞
4. 平成 25 年 ICMAT2013 the Best Poster Award
5. 平成 26 年 社団法人電気学会 優秀論文発表賞