

励みになった「信貴賞」の受賞と、その後の発展

島根大学 総合理工学部

船木 修平

1. はじめに

低温工学・超電導学会関西支部 50 周年、誠におめでとうございます。そして、このような記念誌への寄稿の機会を与えていただき、心より深謝申し上げます。島根大学は低温工学・超電導学会の中では九州・西日本支部にあたりますが、支部活動の中心である九州とこの関西地域は地理上どちらも同じような距離であること、また関西支部の講演会などには「参加資格は、関西地区在住者に限らず広く全国からとします」という文言が付してあることから、関西支部の行事にも多く参加させていただいてきました。今回は、2013年12月13日(金)に開催された「第12回 低温工学・超伝導若手合同講演会」において拝受いたしました『信貴賞』受賞者として、大変恐縮ではございますが、筆を執らせていただきます。

2. 当時の研究から現在の研究・開発への進展

当時、私は島根大学の教職ポストに着任して2年目の年でした。学位を取得した名古屋大学では、主に希土類系銅酸化物高温超電導 (REBCO) 薄膜の気相成長 (PLD) による成膜と、その特性向上に従事しておりましたが、島根大学では山田容士教授のもとで、フラックスを用いた液相成長法による REBCO の合成・成膜に着手しました。2013年に信貴賞を拝受した講演は「熔融水酸化物法を用いた (Y,Ca)Ba₂Cu₄O₈ エピタキシャル膜の作製と評価」という題目で、1年半の成果を凝縮させた内容でしたが、今でこそ関学の尾崎先生、京大の土井先生といった学生時代からの付き合いのある先生方がいらっしゃるものの、当時全く接点のなかった関西支部の皆さんに高く評価いただけたことは、駆け出しの自分にとってとても励みになったという記憶があります。

フラックス法とは、溶剤を用いることで融点よりも低い温度で材料を溶解させ、結晶成長させる手法ですが、本研究では水酸化カリウム (KOH) をフラックスに用いました。KOH は強アルカリによる高い溶解性を有する融液となるだけではなく、高い酸化性を有することから、通常、高温・高圧酸素中でしか合成されない (固相反応法でも可能だが数日を要する) Y124 を大気中・650°C 程度において数時間で合成することを可能とします。私はその Y124 + KOH 溶液を用いて、種結晶となる酸化物単結晶基板上にエピタキシャル膜を成長させるだ

けでなく、さらに Ca ドープによるホール濃度制御で図1に示すような $T_c = 90$ K 級の YCa124 を大気中・650°C の実験環境で実現することに成功しました¹⁾。この KOH を用いたフラックス法との出会いは転機となり、その後も

- ・ Y / Sr 置換による高 T_c -YSr124 合成²⁾
- ・ 低 pO_2 下における Y123 の低温(600°C)成膜³⁾
- ・ Nd123 の極低温(425°C)成膜^{4,5)}
- ・ 相変態熱処理による高 T_c -Eu123 合成⁶⁾

といったように、KOH を用いたフラックス法だからこそ可能となった成果につながりました。さらには、後述する REBCO-CC の接合技術へと昇華するだけでなく、超電導体そのものではないが線材の中間層となりうるペロブスカイト型酸化物の合成・成膜にも進展し、現在も本手法による研究を継続しています。昨年の「第21回 低温工学・超伝導若手合同講演会」において、指導する学生が「KOH を用いた YBCO/LaNiO₃ 膜の低温成膜」という講演で奨励賞を拝受させていただいたのも記憶に新しいです。

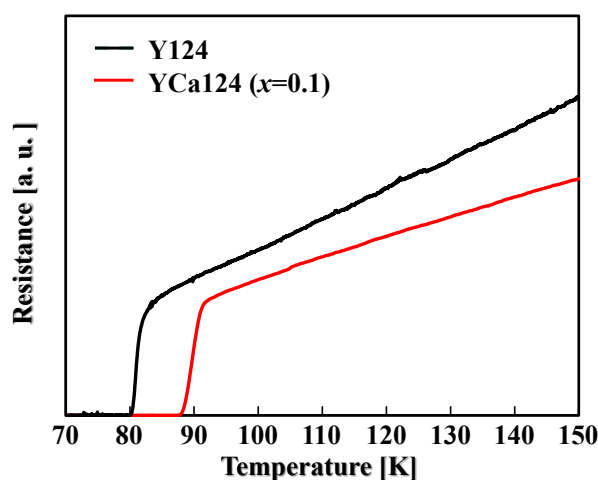


図1 KOH フラックス法で大気中・650°C で成膜した Y124 及び YCa124 膜の R-T 特性

3. これまでの研究・社会活動で印象的な経験

先述したように、KOH を用いたフラックス法は腐食性の強い薬品を使うためか他の機関で積極的に採用されることがなかったことが逆に利点となり、独自の手法として挑戦的な研究を行いました。最近では、JST の未来社会創造事業大規模プロジェクト型における「エネルギー損失の革新的な低減化につながる高温超電導線材接合技術」の公募研究として、「酸素欠損を生じない REBCO 超電導線材の超電導接

合」というテーマで参画し、ポストアニール処理の必要のない超電導接合技術を開発しました。これは、REBCO-CCのREBCO層同士の間において、別のREBCO相をKOHフラックスによって低温結晶化させることで超電導接合を実現したもので、 T_c はREBCOにとって多少低めの $T_{c\text{onset}} = 75 \text{ K}$, $T_{c\text{zero}} = 58 \text{ K}$ であったが、大気中・ 525°C という環境の熱処理のみで超電導接合を実現しました⁷⁾。第一線の方々と期間を決めて成果を追及する研究というのは地方大学ではなかなか体験できないもので、非常に大きな経験となりました。プロジェクトの目的であった大電流通電の点においてKOHの腐食性が欠点となってしまったため、実装には至りませんでした。超電導の大電流を必要としない機器、例えば高温SQUIDなどの電子機器の回路において、超電導素子同士を超電導体でつなぐなどの要素技術として展開が見込めると期待しています。

4. 低温工学・超電導研究分野の将来について思うこと

私が超電導の研究を始めたのは、2001年の高専の卒業研究でした。その当時は超電導のことは何も知らず、「室温超電導を発見できればノーベル賞」というイメージしかありませんでしたが、知るに従い、そして研究するに従い、難しい技術であることや室温超電導以外にも興味深い現象が多くあることを知りました。そのような中で私が望むのは、科学技術立国の日本だからこそできる超電導技術により、民生利用される超電導応用機器が増えることです。一方で、室温超電導といった夢の実現は、超電導を研究する皆さんの頭のどこかには未だにあると思います。あまり固執してはいけませんが、そういった夢やロマンを追い求めていく中で、派生的に確立された「低温工学・超電導研究発」の技術が、世の中の他の製品、技術開発に波及することも望んでいます。私の研究期間は開始から20年余りが経ち、超電導研究は材料から応用フェーズに進展しました。その間、世の中の動向ともシンクロし、シミュレーション、機械学習など、低温工学・超電導研究においても新たな技術が生まれてきたと思います。先述したように、私自身の研究で言えば、超電導接合技術として開発した手法は別の超電導機器の要素技術への展開も見込めますし、もっと広い目で見ると、KOHを用いた研究は超電導に限らず他の機能性酸化物にも昇華しました。このように、すべては低温工学・超電導研究発祥の技術であることに帰着できるような展開を期待したいです。

5. 若い世代の学生・研究者へのアドバイス

若い世代の皆さんがどういった経緯で低温工学・超電導の研究に携わるようになったかはわかりませんが、実際に低温工学・超電導を研究の対象とする環境に置かれているということに非常に幸運だと思ってください。そして、教員や上司からの指導によって目標とされている実験・解析以外に、自分で興味を持つことがあればぜひ能動的に取り組んでほしいと思います。この分野において現在確立・実証されている理論・現象には、全く予想もしていなかったところから生まれたもの、また学生の気づきによって見つかったものが多々あります。学生が指導教員に言われた実験以外に自分で興味を持って行った実験が、その後の研究室の主な研究テーマとなった例もあり、これが、低温工学・超電導研究の最大の魅力でもあると思います。ぜひ神経を張り巡らして、いろいろな情報と意欲とともに人とは違ったことを多く試してみることを勧めます。そういった点で、多岐の分野の講演を横断的に聴ける低温工学・超伝導若手合同講演会を有効に活用してください。

6. 参考文献

- 1) S. Funaki et al.: Phys. Proc. **27** (2012) 284
- 2) Y. Miyachi et al.: Jpn. J. Appl. Phys. **58** (2019)
- 3) S. Funaki et al.: Jpn. J. Appl. Phys. **55** (2018) 04EJ13
- 4) S. Funaki et al.: Phys. Proc. **65** (2015) 125
- 5) S. Funaki et al.: IEEE Trans. Appl. Supercond. **26** (2016) 7201404
- 6) 宮地優悟ら：低温工学 **54** (2019) 187
- 7) 船木修平ら：低温工学 **55** (2020) 275