

多段CVD法によるイットリウム系超電導線材の開発

究極の超電導線材実現に向けて

Development of $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ Superconducting Wire by Multiple-Stage CVD Method

Toward the realization of supreme superconducting wire

(電力技術研究所 電力ネットワークG 超電導・新素材T)

イットリウム系超電導線材の優れた特性を発揮させるには、気相法による結晶制御が不可欠であるが、結晶成長速度が遅いため、線材合成速度が上げられず、長尺線材を作製することは困難であった。当社では、この課題を克服するため、(株)フジクラと共同で、CVD法による多段積層技術を開発。多段化により連続した複数の結晶成長領域を設けることで、相対的な合成速度の高速化を実現するとともに、多層化しても超電導特性が劣化しない積層技術を確立した。これまでに、6段CVD装置により、世界最長となる100m級線材の実現に成功しており、今後は、本技術を実用・量産技術として確立することを目指し、研究を推進する予定である。

(Superconductivity and New Materials Team, Power Network Group, Electric Power R&D Center)

Crystallization control during vapor deposition is indispensable to demonstrate superior qualities of Y superconducting wires. Since the crystal growth rate is low, the rod synthesis cannot be accelerated, thus complicating the production of long wires.

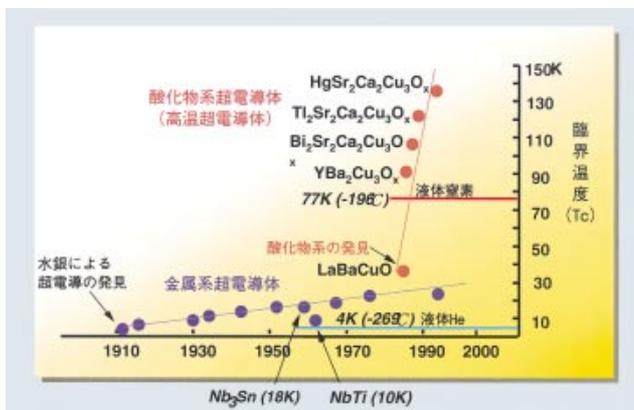
To cope with this problem, CEPCO has been developing multistage / multilayer CVD technology in collaboration with Fujikura Co., Ltd. The technology enables continuous formation of multiple crystallized surfaces, thus accelerating the relative crystal growth rate without multiple layers deteriorating the superconducting properties.

Using the 6-stage CVD reactor we formed the longest wire in the world (100m). Our research has now entered the next stage verifying the technology's practical applicability and its suitability for mass production.

1 研究の背景

超電導とは、ある特定の物質を冷却すると、電気抵抗がゼロとなる現象のことを言う。この現象は、大電流を取り扱う電力分野においては、発電、送变电、貯蔵と、幅広い分野で応用が可能で、機器の効率アップや小型化などが可能となり、実用化を目指した開発が積極的に進められている。

中でも、1986年に発見された酸化物系超電導体は、従来の金属系超電導体に比べ、高い温度で超電導が実現するため、超電導実用化の制約であった極低温冷却の面で非常に有利となる。



第1図 金属系超電導体と酸化物超電導体

当社では、この酸化物超電導体発見当初から、電力応用を目指した研究開発を進めている。

本稿では、この中でも、特にその性能の高さから次世代の超電導体として実用化が期待されているイット

リウム系($\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$)超電導線材に関する最新の研究成果について報告する。

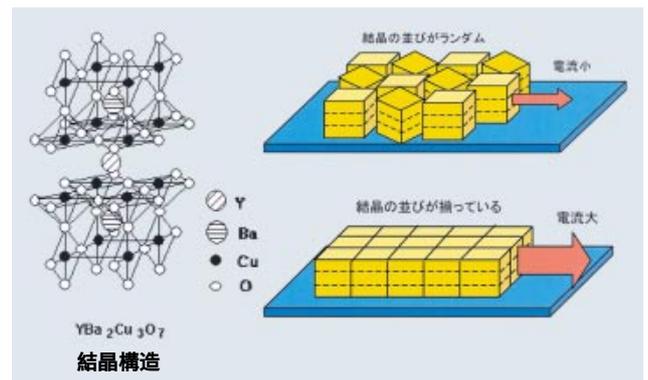
2 研究の概要

(1) 2つの高温超電導体

現在開発が進められている高温超電導体は、銅の酸化物の結晶体で、大きく分けて、ビスマス系($\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$)とイットリウム系の2種類がある。

ビスマス系は、結晶同士の繋がりが良く、細い銀のパイプに粉末状の超電導原料を封入して、延ばすだけで線材を作ることが出来、現在、送電ケーブル等の実証試験が可能な段階にある。

一方、イットリウム系は、電流密度がビスマス系の10~100倍で、磁場中でも特性劣化が少なく、液体窒素温度で使用可能な最も性能の高い超電導体である。しかし、結晶同士の繋がりが悪いいため、その特性を十分発揮させるためには、気相法による結晶配向制御(第



第2図 イットリウム系超電導体の結晶構造と結晶配向制御

2図のように結晶の並びを正確に揃えること。)が不可欠となる。

(2) 気相法とその課題

気相法とは、気体状態の原料から結晶を合成する手法であり、結晶の向きを高度に制御出来、加えて連続的に結晶成長を行うことが出来る特徴がある。しかし、気相法は、このような緻密な結晶制御が可能である反面、結晶成長速度が非常に遅いため、線材合成速度が上げられず、長尺線材を作製することは困難であった。

(3) CVD法による多段積層技術

CVD法とは、化学的気相合成法(Chemical Vapor Deposition method)の略で、高温下での化学反応によって、気相(原料ガス雰囲気)から固体を合成する手法である。

超電導線材の作製では、線材の基となる金属テープ(基材)を、CVDリアクタ部分を通わせることで、その表面に超電導体を結晶化させるが、本開発では、このリアクタ部分を多段化することにより、連続した複数の結晶成長領域を設けることで、相対的な合成速度の高速化を実現することを可能にした。

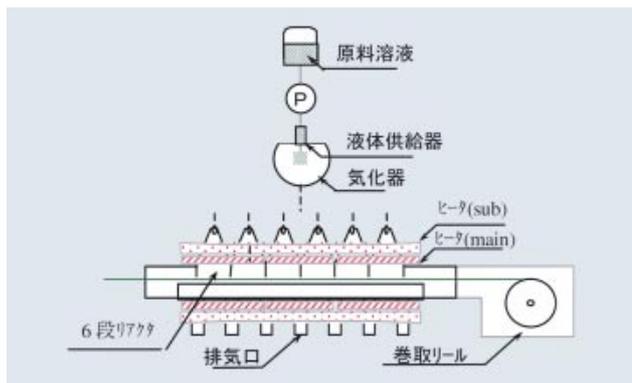
ここで、合成速度が速い場合、当然1段当たりの結晶成長時間は短くなり、それぞれのリアクタ内で合成される超電導体は薄くなるが、多段化しているため超電導体は積層合成され、最終的には、目的とする厚さの超電導線材が得られる。

しかし、単に結晶層が重ねられても、異なる層同士が一体化しない場合、線材の表面層のみの性能となり、目的とする特性が得られない。

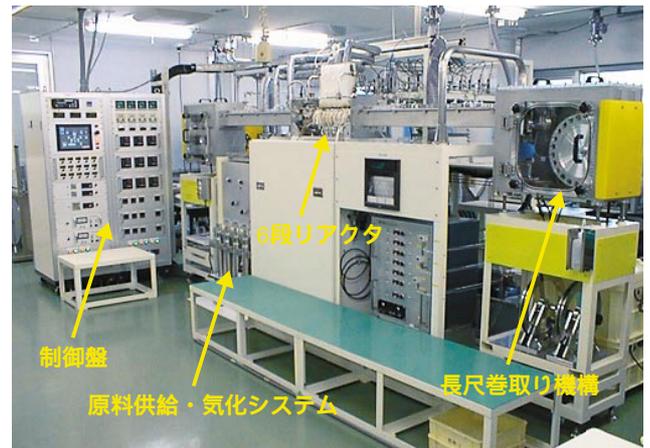
そこで、各反応室毎の合成条件や原料ガスの流れを検討・制御することで、積層界面を原子レベルで均一に作製する事を可能とする積層技術も確立した。

(4) 100m級超電導線材開発

これらの技術開発により、これまでに、6段リアクタを有するCVD装置を開発し、世界最速10m/hの合成速度で、10時間の連続合成を行い、世界最長となる100m級イットリウム系超電導線材の開発に成功している。



第3図 6段CVD装置の構造図



第4図 6段CVD装置の外観



第5図 100m級イットリウム系超電導線材

3 研究の成果

これまでの技術開発により、長尺化が課題であったイットリウム系線材の合成手法を確立することに成功した。

本技術は、従来、長さ数十mが限界であった線材化を、工業化が見通せるレベルまで引き上げたものであり、これにより、高性能な超電導電力貯蔵装置(SMES)等のマグネットや大容量・低損失な超電導ケーブル等の実現に見通しを得ることが出来たと言える。

4 今後の展開

今年度より5ヶ年計画でスタートしたイットリウム系超電導線材開発に関する国家プロジェクト「超電導応用基盤技術研究開発(第 期)」に参画し、超電導応用機器の実用化に不可欠な500m級超電導線材の開発を推進する。

研究拠点となる新実験棟(クリーンルーム完備)は、今秋、当研究所内に完成予定である。



執筆者/鹿島直二
Kashima.Naoji@chuden.co.jp