

# 酸化物超電導線材の開発

抵抗ゼロの夢の電線を目指して

## Development of an Oxide Superconducting Wire

Pursuit of the Future Wire; Zero Resistance

(電力技術研究所 化学技術G)

酸化物超電導体は、超電導発電・送変電、電力貯蔵と幅広い応用が期待されており、これら電力分野への応用には、超電導体を線材形態へ加工するプロセスの開発が必要である。現在、超電導体を線材加工するプロセスの1つとして、CVD法による線材化検討を進めており、今回、金属基板上へのCVD膜としては世界最高の臨界電流密度 ( $7.1 \times 10^4 \text{A/cm}^2$ ) をもつ超電導膜の作製に成功した。

(Electric Power Research & Development Center, Chemical Engineering Group)

Oxide superconductor materials have great potential for many applications such as superconductivity power generation, power transmission and power storage. Such applications to the field of power electricity require the development of a process of manufacturing wires made of a superconductor. We have been studying a wire forming process by means of CVD method as one of such processes. Recently we have succeeded in making a superconductor film which has the highest critical current density ( $7.1 \times 10^4 \text{A/cm}^2$ ) in the world for a CVD film formed on a metal substrate.

### 1 研究のねらい

酸化物超電導体は1986年に発見されて以来、社会的に一大フィーバーを巻き起こした超電導体であるが、ここでもう一度その特徴について振り返ってみると、その超電導転移温度（抵抗のある常電導状態から抵抗がなくなる超電導状態へ変わる温度）が従来の金属系に比べ非常に高いこと以外に、これら酸化物が銅の酸化物となっているという特徴がある。ここで、これらすべての銅酸化物超電導体はすべてその結晶のCu-O面（第1図の斜線部分）に超電導電流が流れる層状構造をもっている。

このため、その結晶粒を電流の流れ易い方向に揃えてやれば、これら酸化物超電導体に大きな電流を流すことが可能となる。

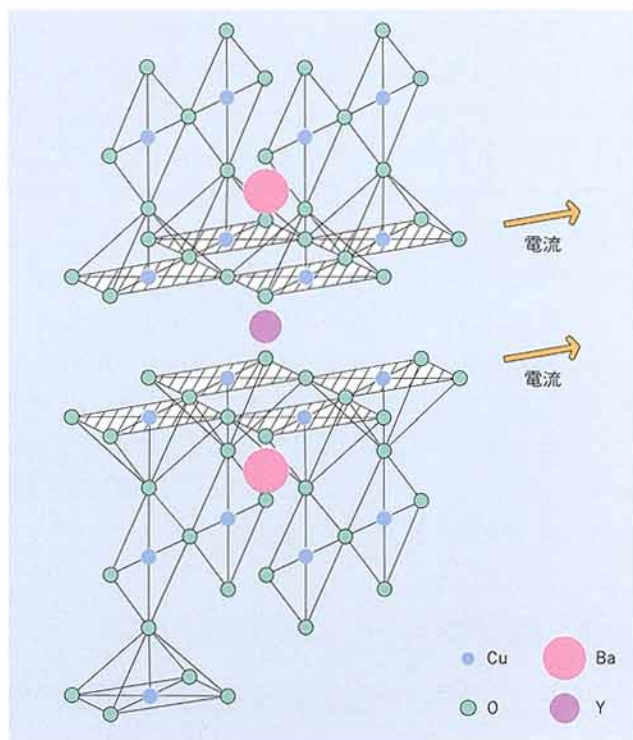
一般に、結晶の配向制御が可能で、高い超電導特性を期待できるプロセスとして、薄膜プロセスがある。なかでもCVD法は他の薄膜プロセスに比べ大きな成膜速度が可能なることから、線材化を前提とした長尺化、量産化プロセスとして有望であり、現在、(株)フジクラと共同で線材化研究を行っている。

酸化物超電導線材の合成プロセスとしてCVD法を考えた場合、連続的に原料を供給できるため、原理的に作製可能な線材に長さ制限はなく、また原料の大量供給によって非常に高速な成膜も可能となる。ここで、一般のCVD装置では超電導体の各構成元素ごとに気化させる方式をとっている。しかし、原料ごとに気化温度が違い、中には分解してしまう原料もあるため、全体の組成を制御することが非常に難しい。今回開発したCVD装置は原料を一括で気化させることによって、組成の変動を抑え、また、反応室内に基板の移動機構を備えて、安定した連続成膜を可能としている（第2、3図）。

### 2 CVD法とは

CVD法とは化学的気相合成 (Chemical Vapor Deposition) 法の略であり、高温下あるいは活性化された状態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プロセスである。

このプロセスの特徴はセラミックスから金属、半導体、有機高分子など多様な材料を薄膜や微粒子など種々の形態に合成できることである。

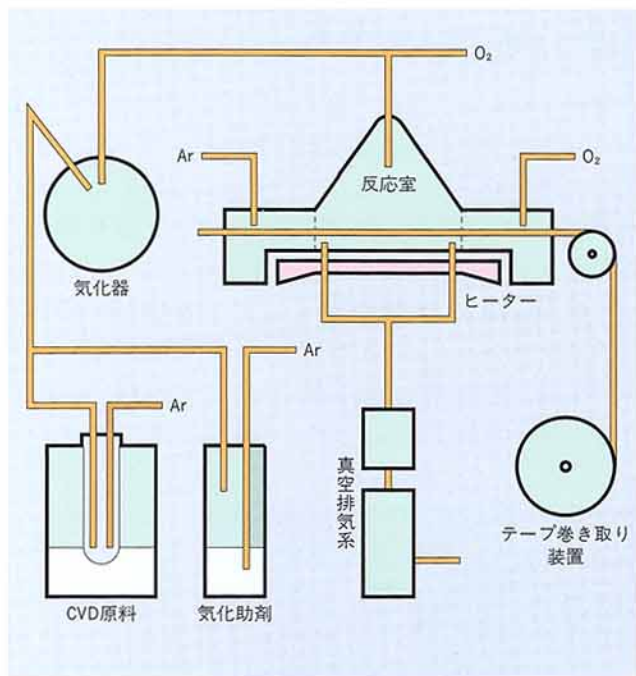


第1図 Y-Ba<sub>2</sub>-Cu<sub>3</sub>-O<sub>7</sub>-S超電導体

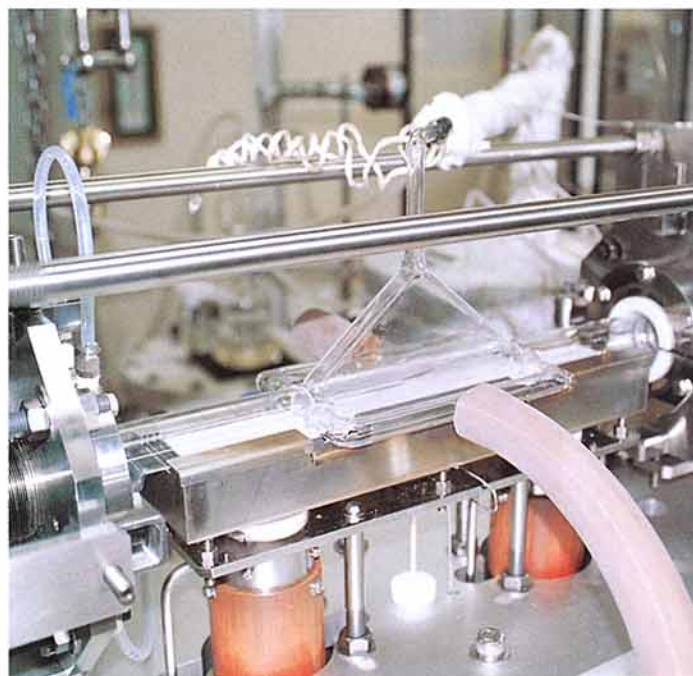
### 3 酸化物超電導テープ

薄膜プロセスで酸化物超電導体を作製する場合、膜を支持するために基板が必要となる。ICやトランジスタ等の電子部品用途には超電導体との反応が少ないMgO等の単結晶が検討されているが、単結晶では線材の場合に必要な可とう性がない。このため、線材化には長尺化が可能で、可とう性があり、機械的強度も十分ある金属の上への成膜が要求される。この場合、金属基板自体もCVD反応時の高温に耐え、超電導体と反応が少ないものが必要となる。

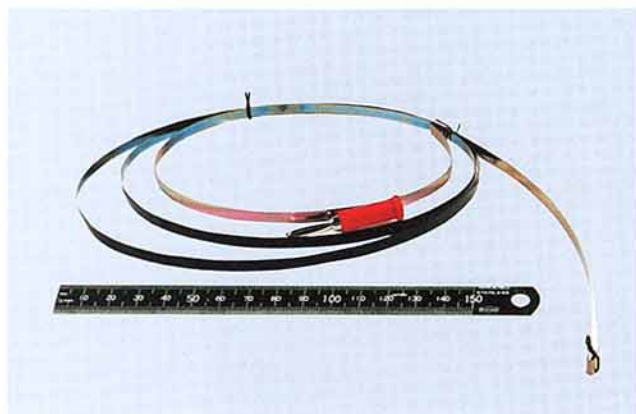
今回、Ni系耐熱合金（ハステロイC-276）を基板とし、超電導体と基板との反応を抑制するためにイットリア安定化ジルコニア（YSZ）を中間層とした構造で、約1m長の超電導テープを作製した。このテープは全長にわたり超電導転移温度が一定しており、今回開発したCVDプロセスでの成膜安定性を確認することができた



第2図 CVD実験装置の概要図



第3図



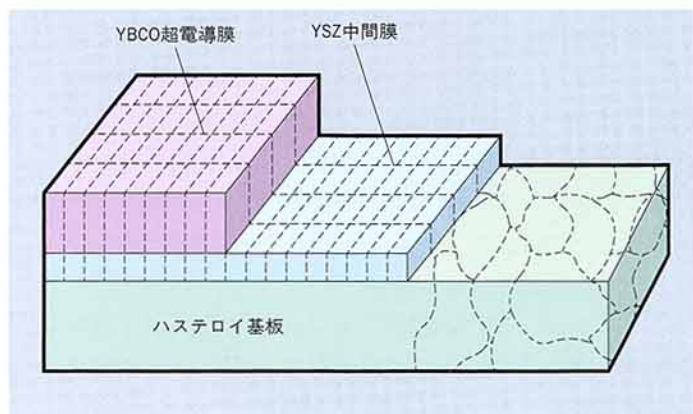
第4図

(第4図)。

更に、このテープはそのYSZ層の結晶配向制御を行うことによって、その上に合成する超電導体の配向性を高めることが可能である。第5図にその概念図を示す。このテープでは、YSZ中間層のハステロイ基板上への成膜段階で、イオンビームを照射して、結晶全体を一方向に揃え、その上に合成される超電導体の配向性を高めた。現在、このプロセスによって、液体窒素中で電流密度が数百～数千A/cm<sup>2</sup>程度のサンプルを7.1×10<sup>4</sup>A/cm<sup>2</sup>まで高めることに成功した。

### 4 今後の目標

今回の実験結果により、高温超電導線材の実用化に向けてのスタートラインに立つことができた。今後、さらに、その電流密度を上げ、超電導ケーブルなどへ実用化をはかっていきたい。



第5図