

高特性超電導線材で20倍の製造速度を達成
—10mY系超電導線材で実証—

平成13年5月14日

(株)フジクラ 材料技術研究所
中部電力(株)電力技術研究所
(財)国際超電導産業技術研究センター
超電導工学研究所

[株式会社フジクラ](#)(取締役社長 辻川 昭)、中部電力株式会社(取締役社長 太田 宏次)及び超電導工学研究所(所長 田中 昭二)は、高特性を有するイットリウム系¹⁾超電導テープを従来の20倍の速度で作製する技術開発に成功し、これを10m長線材で実証した。

フジクラが開発し、基本特許を有するIBAD法²⁾は、高い配向性を有した中間層を成膜する技術でありこの上に成膜した超電導膜で従来から短尺で100万A/cm²の臨界電流を得ることが可能な有望な手法とされていたが、成膜速度³⁾が遅く、これによる線材の製造速度⁴⁾が低いとのことから実用化線材作製に対して危惧されていた。今回の成果は、IBAD装置の大型化、同イオンビーム形状の適正化等による大面積安定成膜を実現し、更に配向制御性の高い新しい中間層材料の発見により達成されたもので、従来の課題を解決し、高特性線材の高速成長を実現したものである。この技術は、実際に長尺線材作製で試され、1m/hの製造速度で10m長のイットリウム系超電導テープで40万A/cm²の臨界電流を実証した。これは、液体窒素温度で線材断面1平方センチメートル当たり、40万アンペアをゼロ抵抗で通電できる値で、これを長尺で達成したのも世界で初めての成果である。

今回の成果により、50～100mの高特性長尺線材によるケーブル応用やマグネット応用が見込める事となり、日米で開発競争が続いているイットリウム系超電導線材開発において大きな前進をしたことになる。

現在、高温超電導線材開発においては、ビスマス系超電導体を用いた銀シース線材⁵⁾での応用が始まり商業ベースになったところであるが、その応用範囲は特性から制限があり、磁場特性に優れ、液体窒素温度(77K)での使用が見込めるRE123系(RE=希土類)酸化超電導材料を用いた次世代線材の開発が強く求められ、日本、アメリカを中心に世界的に開発研究が進められている。日本では、超電導応用基盤技術研究体の研究として、新エネルギー産業技術総合開発機構から委託されたISTECが複数の再委託企業と共に、様々なプロセスによる検討を始め、確実に成果が挙げられつつある。今回の成果は、フジクラが基本特許を有しているIBAD法を、本プロジェクトにおいて実応用へ展開すべく行っている開発研究で達成されたものである。

IBAD法は、低エネルギーイオンビームを用いて、図1、図2に示すように、無配向の金属テープ上に単結晶的に結晶配向した中間層を形成する技術で、平成2年にフジクラによって世界に先駆けて開発された。この配向中間層上にRE123

系超電導層を形成すると、単結晶と同等の高特性が極めて安定して得られる。RE123系線材の製法は他にも多数提案されているが、IBAD法による中間層は配向性が非常に高いだけでなく、表面が極めて平滑(粗さ数nm以下)で、結晶粒が粗大化しないという、他の方法で実現しにくい有利な特徴を有しており、安定した長尺特性が得られる可能性が高いと考えられていた。しかしながら、製造速度の面で課題があり、実応用への展開へはこの課題の解決が望まれていた。

今回、(株)フジクラ及び中部電力(株)は、超電導工学研究所と共同で、IBAD法中間層の長尺製造設備を新しく開発し(図3)、大面積で安定した成膜条件を得ることに加えて従来の中間層材料であるYSZに比べて薄い膜厚で高い配向性を示すパイロクロア型酸化物 $Zr_2Gd_2O_7$ を使用し、その成膜条件の最適化に成功した事により、従来の0.05m/hから約20倍になる1m/h程度の速度を実現し、これを10m長の均一な配向中間層形成で実証した。本中間層上にエキシマレーザー蒸着法によってY-123超電導材料を同様に1m/hで積層した結果、9.6m長において、臨界電流値50A、臨界電流密度 $4.2 \times 10^5 A/cm^2$ が得られた(図4)。10m級の試料でこれだけの高特性が確認されたのは今回が世界で初めてである。従来イオンビーム、エキシマレーザー等のビーム応用機器は研究用に開発されたものが多かったが、近年こうした技術の工業応用が加速度的に進み、数100時間の連続運転に耐えるものも開発されており、IBAD法を用いることによって、高特性のY-123線材の長尺合成が可能であると判断できる段階に至った。なお、8cm長においては臨界電流値140A、臨界電流密度120万 A/cm^2 が得られており、長尺における今後さらなる特性向上が期待できる。

以上

本研究は、経済産業省のニューサンシャイン計画のもと、超電導応用基盤技術研究体の研究として、(財)国際超電導産業技術研究センター・超電導工学研究所が、新エネルギー産業総合開発機構(NEDO)から委託を受けて実施したものである。

本件に関する問い合わせ先:

(株)フジクラ材料開発研究所 金属材料研究部 齊藤

TEL:03-5606-1064 FAX:03-5606-1512

1) イットリウム系超電導体;	Y:Ba:Cuの比率が1:2:3を基本とした超電導酸化物で90K以上の臨界温度を有し、特に磁場中での超電導特性に優れている利点を有していることからBi系線材に対して次世代の位置づけでの開発が盛んに行われている。
2) IBAD法;	Ion Beam Assisted Deposition 法の略で10年前に株式会社フジクラで開発された配向中間層を成膜する技術である。これは、基板に対してある角度よりイオンビームを照射しながらスパッター法等により成膜する手法であり、無配向基板上においても高い結晶性を有した三次元的配向構造が得られ、粒径が数十nmと小さいという特徴を有している。(図2参照)
3) 成膜速度;	静止している基板上へ成膜する際の膜の堆積する速度。 =膜厚/成膜時間

4) 製造速度;	<p>線材を作製するときの線の移動速度。必要な膜厚を得るため成膜時間と成膜速度及び装置に依存した成膜長さによって決定される。</p> <p>= 成膜長さ / (必要膜厚 / 成膜速度)</p> <p>= 成膜距離 / 必要な成膜時間</p>
5) Bi銀シース線材;	<p>Bi:Sr:Ca:Cuの比率が2:2:2:3若しくは2:2:1:2を基本とした酸化物超電導材料を銀パイプに充填し、伸線・圧延を施すことによりテープ若しくは丸線状にした超電導線材を指す。臨界温度が高く、加工性に優れているため線材化研究が進み、一部は商業化に至っている。但し、材料特性として磁場中での特性低下が激しい欠点を有する。</p>

図1;IBAD法線材構成の概念図

Y系超電導線材を用いた線材の基本構造はフレキシブルな金属テープ上に反応抑制等の目的で中間層を配し、この上に超電導層を形成する多層構造である。Y系超電導体は、結晶の向きによって特性が大きく異なることより、線材として高い特性を得るためには結晶の方向を揃える必要がある。超電導層で自発的に結晶の方向が揃うことはないので、中間層の結晶を何らかの手段で揃え、これに沿って超電導結晶を成長させなければならない。この中間層結晶を揃える手段として大きく二つの方法が考えられている。一つは、金属テープに特殊な加工を施して、金属テープの結晶から揃える方法であり、他方は、特殊な成膜方法により中間層結晶を揃える方法である。IBAD法は後者に分類される。従って、構造としては、図1に示す様に結晶方向の揃っていない金属基板上にIBAD法により結晶方向の揃った中間層を配し、その上に中間層の方向に沿った超電導層がある構造となる。

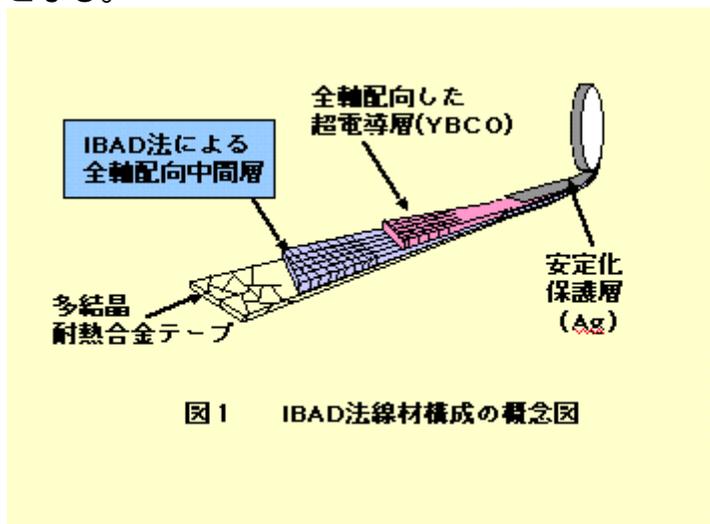


図1 IBAD法線材構成の概念図

図2:IBAD法中間層の製法概念図

IBAD法は、例えばYSZ(イットリア安定化ジルコニア)等の中間層物質を成膜する際に、特定の方向(角度)からイオンビームを照射しながら成膜する方法であり、イオンビームアシスト蒸着法と呼んでいる。ここでは、特定の方向から入射されたイオンビームに沿って成膜結晶が揃うという現象を利用して結晶方向の揃った中間層形成に用いている。YSZの場合には、ビーム入射方向に対して<111>方向(サイコロの対角線方向)に沿った結晶が優先的に成膜される。これにより、金属上に成膜される中間層結晶全体が同じ方向を向くことになる。

また、この方法は室温近傍の低温での成膜であることより、結晶粒のサイズが小さく表面が平坦である利点も有している。一方、課題としては成膜速度が遅い事に起因した低製造速度であり、この製造速度の高速化が望まれていた。

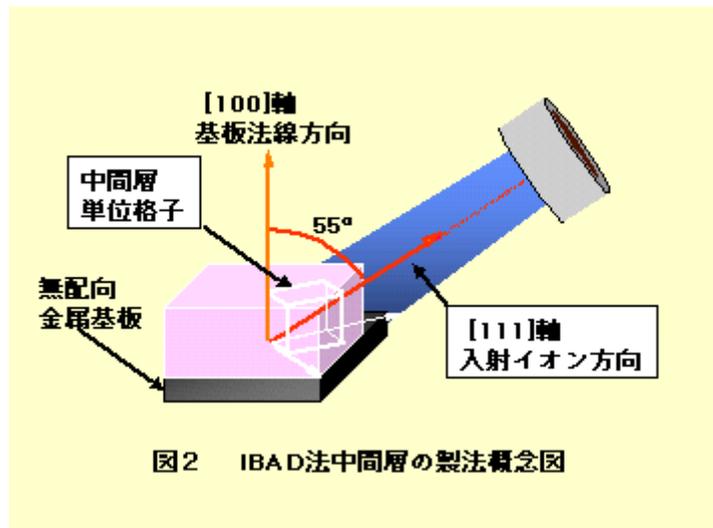
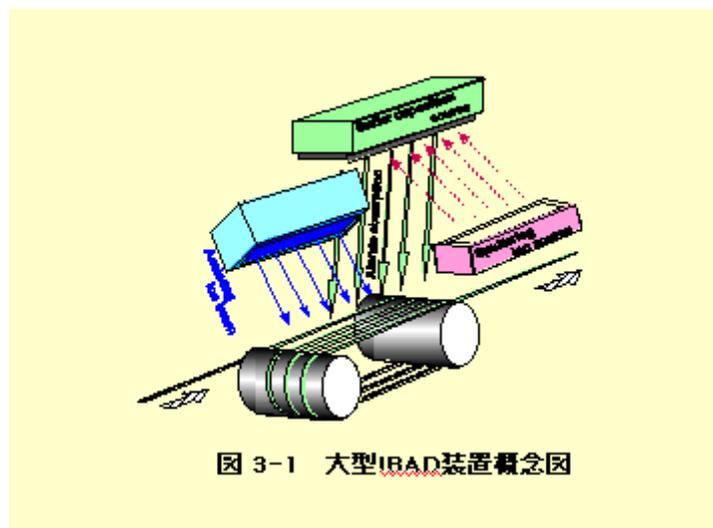


図3: 大型IBAF装置概念図及び外観図

本大型IBAF装置は、IBAF法での課題であった高製造速度化を実現するために、イオンソース等の大型化により成膜面積を大きくし、この中で線材を複数回ターンさせ繰り返し成膜することを可能にした装置である。これにより、実質的な成膜長を長くすることが可能になり成膜速度が低い方法でも高い製造速度を実現することができる。図中では、1cm幅の金属テープを5回ターンさせており、これだけで5倍の製造速度が得られる事になる。また、大型化およびイオンソース形状の適正化(丸形⇒矩形)によりビームの直線性が向上し、これまでより薄い膜厚で結晶が揃うようになり、これによる高速化の効果も確認している。



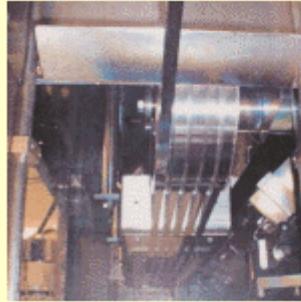


図3-2 大型IBAD装置外観写真

図4: 10m級YBCO線材の外観図及び特性分布

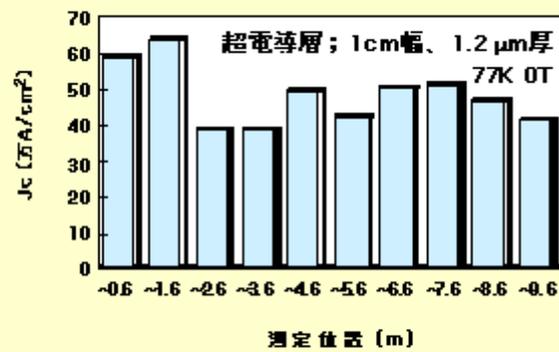


図4 10m級YBCO線材の外観図及び特性分布