

Possible Applications of High Tc Superconductors to Accelerator Components

Eisuke Minehara, Ryouji Nagai^A and Manabu Takeuchi^A

Accelerators Division, Department of Physics, Tokai Research Establishment,
Japan Atomic Energy Research Institute

^ADepartment of Electrical Engineering, Ibaraki University

ABSTRACT;

After the discovery and the confirmation of the new superconductivity with higher onset temperatures around 40K for LaSrCuO compound system, the feasibility study for the newly-developed metal oxide (LaSrCuO, YBaCuO, BiSrCaCuO compounds) superconductor devices (cavity resonator, transmission line, wave guide, antenna, and magnetic shield) as accelerator components was started at JAERI Tokai in March 1987. A preliminary result of the study is reported on the fabrication method, the RF properties of the superconducting materials, and the magnetic shields for the Nb cavity.

1. はじめに

日本原子力研究所では現在高温超伝導体の加速器構成要素への応用可能性を調べている。主に高温超伝導体RF空洞、高温超伝導体導波管、高温超伝導体アンテナ、Nb系超伝導加速空洞の為の高温超伝導体磁気遮蔽体について、小規模のものを設計試作して特性測定している。現在までに得られた結果について報告し、将来の見通しについて議論する。

2. 高温超伝導体素材、薄膜の調製

1987年度中頃までに6種類（蒸着法、DCアーク蒸着法、マグネトロン法、イオンビーム法、プラズマ溶射法、刷毛塗り法）の薄膜作成技術の評価を実際に薄膜を作成して行ない、YBaCuO系、LaSrCuO系、BiSrCaCuO系の3種類の高温超伝導体を再現性良く、任意の形状、大面積の母材に高結合強度で付ける方法として、プラズマ溶射法を開発した。一部露出している母材の酸化防止や小面積の薄膜作製に刷毛塗り法（スプレーイリソ法）も用いている。

プラズマ溶射法を用いて、LaSrCuO系、YBaCuO系、BiSrCaCuO系の3種類の高温超伝導体で数十から1200ミクロン程度の膜を再現性良く、任意の形状の母材に均一に、高強度で付けることが可能となった。プラズマ溶射器は、主に米国メタ社製のものを使用し、溶射ガスは現在のところアルゴン、窒素等の不可活性ガスを用いている。溶射する素材は歩留りを良く、結合強度を高く、材料の成分比率が最適な比率からずれるのを防ぐために、大体20から100ミクロンの粒径のものを使用している。又、溶射原料は固相反応法または共沈法によって製造したものを950度C程度（LaSrCuO系、YBaCuO系）及び850度程度（BiSrCaCuO系）で本焼成してから粒径をそろえて原料粉末としている。

LaSrCuO系は水分に極めて弱く、焼結後、2-3箇月でデシケータ中でも加水分解して粉末に戻ってしまうため、この物質の実用化は断念した。YBaCuO系はやはり加水分解するがLaSrCuO系と比べると遥に耐久性がある。BiSrCaCuO系は2-3時間水の中に入れてもほとんど特性は変化しない。

母材表面に材料を付けた状態でYBaCuO系で95-85K程度のTcが得られるようになった。この時後処理は酸素の取り込みがよく行なわれるように500度C以上で10時間以上かつ十

分に徐冷して行なわれている。BiSrCaCuO系で110K-65K程度のTcが得られている。

1988年から原料粉から直接焼結膜を溶射器で作製する試みを始めた。このため酸素を溶射ガスとした溶射装置(小野田エムト製)を用いて、溶射条件(溶射素材、粒径、粒子速度、ガス流量、プラズマパワー)を変えて、銀、銀をメッキした板、MgO等の基板上に高温超伝導体の溶射膜を作製し、RFおよびDCでの抵抗率、成分比(EPMA、RBS)、結晶性(XRD)、AC磁化率について測定し最適化を試みている。XRDの結果によれば製膜後、短時間の後処理で大部分がYBaCuOのバリ層になることが確認された。

最近開発されたBi系、及びTl系等のこれから開発されるであろう新超伝導材料(グループ内では材料の開発は行なわない)の応用を積極的に行なう予定である。Y系はLa系に比べて安定で取り扱いやすいが表面の品質ではまだ問題がある。これから開発される新材料で解決される可能性も大きい。Bi系、及びTl系は現在評価中である。

3. RF空洞共振器

高周波電磁場中の高温超伝導体の表面抵抗特性を測定するため常伝導の9、及び3GHzの空洞の中にBiSrCaCuO系、YBaCuO系、LaSrCuO系高温超伝導体円板を入れて冷却し、Q値の温度依存性を測定した。又、9GHzの定在波測定装置でプラズマ溶射によって製作されたBiSrCaCuO系、及びYBaCuO系高温超伝導体薄膜の高周波の吸収の温度依存性を測定した。共沈法で作製した素材を加圧成型した後、焼結した試験片、プラズマ溶射で調製した試験片を上記の方法で測定したが、結果は常温の銅と同程度であった。

焼結体の機械加工成型によるものと、銅母材へのプラズマ溶射によるYBaCuO系3GHz、10-15GHz高温超伝導体空洞の試作を行なった。新規に設計したHe閉回路冷凍機を用いた高温超伝導体試験装置を用いて試作空洞のQ値とその温度依存性を測定した。3GHzの場合大体表面処理していない銅の空洞と同じくらいの10の3乗から4乗台が測定された。3GHz空洞はIn、Auニールを用いたが再現性に乏しく、表面境界の劣化、接合部の接触の劣化等により3乗台程度に下がりやすい。10-15GHzの高温超伝導体空洞の接合は低温用の付けを用いたがそのQは数千程度で安定しており、再現性はよく、接合部の問題は改善された。この表面抵抗の値は銅と同程度又は少し良いくらいであるがこれは高温超伝導体の本質的なものではなく、BCSを仮定してキャップエネルギーの測定値から計算するとNbよりも遥に低い値が期待できる、また最近の測定によるとmmサイズの単結晶ではNbよりも少し低い値が得られている。

1987年秋に我々は高温超伝導体で世界で最初の、初歩的な段階の高周波空洞の試作に成功しているが、高温超伝導体で実用的な高周波加速空洞を作ることには大きな困難があり、ほとんどその見通しは立っていない現状である。しかしながら、現在も世界各地でより高温で動作する、より応用しやすい性格の、新しい高温超伝導体材料の開発が続いており、高温超伝導加速空洞開発の将来は暗い面ばかりではないように思える。

4. Nb系超伝導加速空洞のための高温超伝導体磁気遮蔽体

最後にNb系超伝導空洞の為の微弱磁場の遮蔽体の設計、試作について、又小規模でかつ微弱磁場の遮蔽効果測定の結果について報告する。地球磁場、周辺の機器類による磁場により超伝導空洞は小面積ではあるが臨界磁場以上の常伝導状態の部分が表面にできて表面抵抗が増えて、Q値が劣化する。これを防ぐための磁気シールドの試作と測定を行なっている。外部に印加された磁場を遮蔽体が遮蔽している様子をHall素子を用いて測定した結果によれば(0.3Gauss程度)地球磁場程度の外部磁場を液体窒素温度において百分の一程度に遮蔽することが出来る。実規模(タンデム加速器後段ブースターの129MHz1/4波長型空洞共振器を仮定した。)の10分の1程度の大きさの磁気遮蔽体をプラズマ溶射技術を用い試作している。又高温超伝導体のみでは遮蔽できる磁場が弱いので、高透磁率の遮蔽体を組み合わせるハイブリッド磁気遮蔽体を用いた磁場センサーの較正用の零磁場標準を試作し測定を行なった。これを用いると遮蔽磁場を更に1桁から2桁以上大きく出来る。