

REBCO 線材の臨界電流に対するプロトン照射エネルギー依存性の基礎評価

Fundamental evaluation of the dependence of proton irradiation energy on the critical current of REBCO tapes

鉄道総研¹, 東北大学² [○]山本 春海¹, 伊藤 悟², 馬 宇潔², 松山 成男², 三輪 美沙子²,
遠山 翔², 富田 優¹, 橋爪 秀利²

Railway Technical Research Institute¹, Tohoku Univ.², [○]Haruumi Yamamoto¹, Satoshi Ito²,
Ma Yujie², Shigeo Matsuyama², Misako Miwa², Sho Toyama², Masaru Tomita¹, Hidetoshi Hashizume²
E-mail: yamamoto.haruumi.52@rtri.or.jp

1. はじめに

REBCO 線材の臨界電流向上のために各種の人工ピンが研究されているが、陽子線を用いた例は少なく、さらに照射エネルギーによるピン止め効果の違いに着目したものはない。本研究では REBCO 層に到達する陽子線エネルギーが異なる 2 つの照射条件を設定し、臨界電流に与える影響について調査したので報告する。

2. 実験方法

人工ピンが導入されていない GdBCO テープ線材 (SuperOx Japan, 幅 4 mm) の臨界電流 (I_{c0}) を評価したのちに人工ピン導入のための陽子線照射を行い、再度臨界電流 (I_c) を評価した。臨界電流評価は 4 端子法によって行い、臨界電流は電界基準 ($1 \mu\text{m/cm}$) により定義した。温度は 77–15 K の範囲、磁場は線材の c 軸方向に s.f.-5 T の範囲で印加した。

照射は東北大学高速中性子実験室のダイナミトロン加速器にて実施し、REBCO 層に到達する陽子線のエネルギーが異なる 2 つの照射条件を設定した。1 つ目は REBCO 層に到達する陽子線エネルギーが高いもので、サンプルとして表面に銅安定化層が付いていないものを用い、陽子線を 1.0 MeV (Low energy) に加速して照射した。2 つ目は REBCO 層に到達する陽子線のエネルギーが低いもので、サンプルとして表面に銅安定化層が $14 \mu\text{m}$ コートされたものを用い、陽子線を 1.9 MeV (High energy) に加速して照射した。

3. 結果と考察

それぞれの照射条件における材料の損傷の様子を照射模擬計算ソフトウェア SRIM (The Stopping and Range of Ions in Matter) で計算した結果を Fig. 1 に示す。(a) Low energy ではブラッグピークが Hastelloy 層にあるのに対し、(b) High energy ではブラッグピークが GdBCO 層にある。そのため超伝導層での照射粒子のエネルギーは Low energy で高く、それぞれの照射条件で生成する欠陥の様子は異なっていると考えられる。

Fig. 2 は 25 K における照射前後の臨界電流の変化を、規格化臨界電流 (I_c/I_{c0}) として示す。横軸は GdBCO 層の DPA (Displacement per atom) であり、ターゲット原子が平均何回はじき出されたかを示す。自己磁場 (s.f.) においてはいずれの照射条件でも同様の傾向を示し、DPA が増えると臨界電流は低下した。一方 5 T においては、Low energy の場合は DPA 増加に対して臨界電流が変化しない傾向であったのに対して、High energy の場合は臨界電流が向上する傾向が見られた。この磁場

下における振る舞いの違いは、超伝導層内部に生成した照射欠陥の違いに起因するものであると考えられる。陽子などの軽荷電粒子は高エネルギーで電子的阻止能が大きく、低エネルギー帯で核的阻止能が支配的となる^[1]。核的阻止能に起因するカスケード欠陥がピンとしてより有効である可能性がある。

4. まとめ

REBCO 線材の超伝導層に到達する陽子線エネルギーの違いが、臨界電流に与える影響について調査した。超伝導層で高エネルギーとなる照射条件より、超伝導層で低エネルギーとなる照射条件で臨界電流向上が見られた。照射粒子エネルギーによって欠陥の構造・サイズに違いがあり、ピン止め効果が異なるためと考えられる。

参考文献

[1] 石野栞, 照射損傷, 東京大学出版社, 1979.

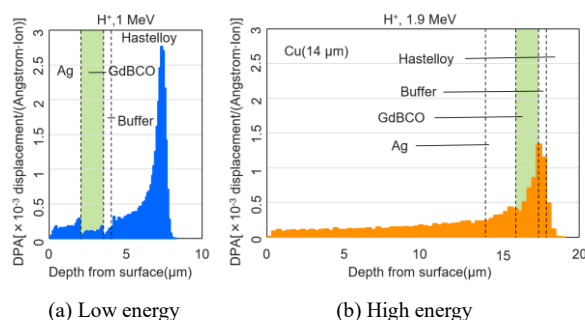


Fig. 1 Calculation result of irradiation damage of GdBCO tapes.

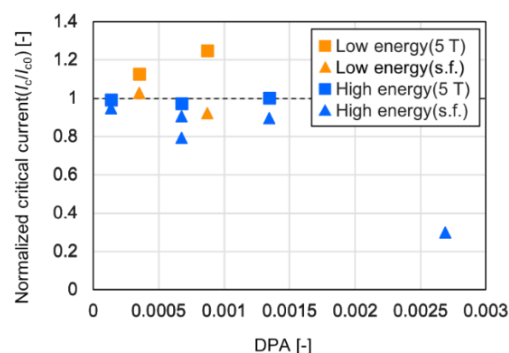


Fig. 2 DPA dependence of normalized critical current at 25 K, B//c.