

超電導線材の強磁場下における特性向上効率の最大化を目指した条件探索

Exploring APC Installation Conditions to Enhance Superconductor Performance in High Magnetic Fields

奥部 真樹¹⁾, 吉仲 直美¹⁾, ガイフリン マラット¹⁾, ペトリキン ヴァレリー¹⁾, リー セルゲイ¹⁾, 兼谷 聡²⁾, 花屋 博秋²⁾

Maki OKUBE, Naomi YOSHINAKA, Marat GAIFULLIN, Valery PETRYKIN, Sergey LEE, Satoshi KANEYA, Hiroaki HANAYA

¹⁾ Faraday Factory Japan 合同会社 ²⁾ 量子科学技術研究開発機構

(概要)

超電導線材の磁場中特性の向上を目的とし、3MV タンデム加速器を用いたイオン照射による人工ピンニングセンター(Artificial Pinning Center, 以下 APC)導入実験を行った。照射イオン種や照射時間、試料組成などの条件の組み合わせによる効果の違いを検証するため、データ収集を行った。今年度は O と Ni の照射を行い、照射後の超電導線材試料に対し磁場中で臨界電流の測定を行った。昨年度までに得られたデータと合わせて、照射条件による超電導線材の特性向上の効率の違いを検証した。

キーワード：超電導線材、強磁場、人工ピンニングセンター

1. 目的

高温超電導体は、高効率の送電や電気推進による乗り物など、次世代エネルギー技術における重要な要素の一つである。これらの技術で用いられる超電導線材には、強磁場下で高い臨界電流特性を持つことが求められるが、本来超電導体には強磁場下において臨界電流(I_c)が減少する性質がある。その磁場中での I_c 特性を向上させるための方法の一つには APC の導入がある。本研究課題では、強磁場下における超電導線材の性能向上を目的として、イオン照射による超電導線材への APC 導入を行った。照射後の試料に対し強磁場下での I_c 測定を行い、イオン照射による特性向上の有無を評価した。今年度は昨年度までとは異なるイオン種や照射エネルギー、試料組成についても実験を行い、特性向上の効果の高い照射条件の探索を行った。

2. 実施方法

3MV タンデム加速器を用い、超電導線材試料に対し 15MeV の O イオンと 12MeV の Ni イオン照射を行った。試料は Hastelloy 基板の上に酸化物の薄膜を積層した超電導線材であり、積層構造の構成は、基板層/中間層(緩衝層)/ 超電導層 REBa₂Cu₃O_x (RE: 希土類元素)/保護層とした。超電導線材試料は希土類元素の元素種と含有量の異なる幾つかの試料を用意し、それぞれの組成について、照射量を変えた幾つかの実験を行った。イオン照射実験後には、東北大学金属材料研究所附属強磁場超伝導材料研究センター設置の超電導マグネットを用いて、強磁場下での I_c 測定を行った。

3. 結果及び考察、今後の展開等

図1〜3に YBa₂Cu₃O₇ 高温超電導線材に O, Ni および Au イオンを照射した試料の I_c の磁場依存性を示す。データ点の黒は非照射の試料、黒以外の色は照射した試料を示し、異なる色は照射量の違いを示している。Ni と Au では共にイオン照射による I_c の向上が見られたが、O では I_c 向上の効果が殆ど観測されなかった。現在得られているデータの範囲内においては、Ni の I_c 向上効果が最も大きかった。本研究における殆どの試料組成とイオン種の組み合わせにおいて、磁場が強くなるにつれてイオン照射による I_c 特性向上の効果が小さくなる傾向が観測されたが、YBa₂Cu₃O₇ への Ni イオン照射のケースでは 20T, 20K の条件でもなお非照射に対して 19%の I_c 向上が見込まれる(非照射試料の外挿

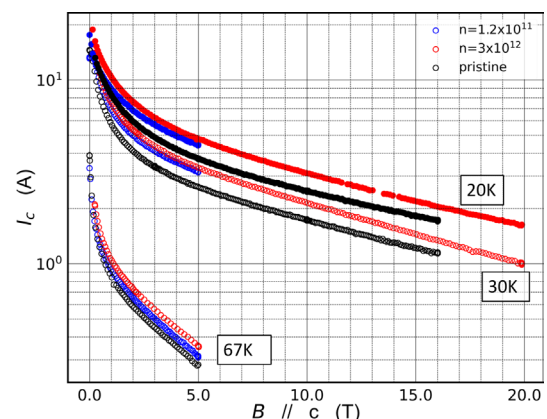


図1: Ni照射の YBa₂Cu₃O₇ の磁場中特性

データとの比較による)ことは特筆すべきである。また、 I_c 向上効果が大きい磁場領域は、イオン種や試料組成によって異なる傾向がみられ、超電導体の動作温度による差異はさほど大きくはなかった。

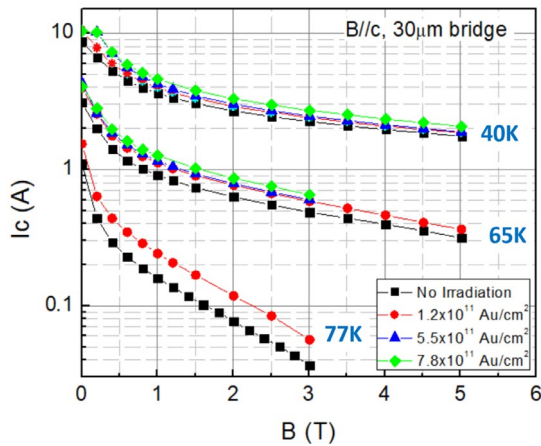


図 2: Au 照射の $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ の磁場中特性

図 1~3 全てで、 I_c 測定は 4mm 幅の線材に作成した 30 μm の幅のブリッジについて行った。磁場は帯状の線材に対して垂直に印加した。

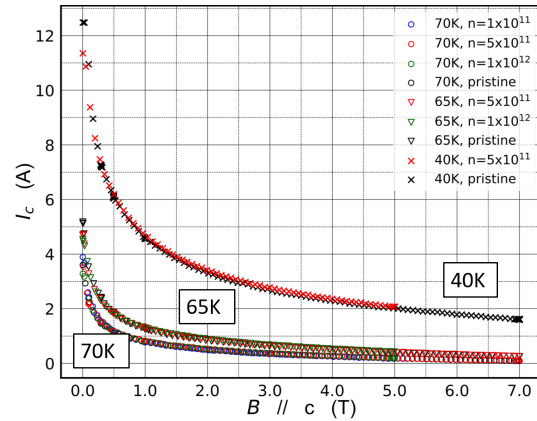


図 3: O 照射の $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ の磁場中特性

超電導層内でのイオンの飛行過程を検証するために行った SRIM コード^{(1),(2)}を用いたシミュレーションでは、Ni イオンの飛行は Au イオンと比べると侵入深度がより深く、O イオンと比べるとより広く拡散していることが示唆されており(図 4)、これが pinning の効率の違いに現れたと考えられる。

今後もパラメータを変えたデータ収集を継続し、系統的な条件の検証を行ってゆく予定である。並行して SRIM を用いた電子阻止能の計算も行っており、生成された欠陥の形態や大きさもパラメータとして加えた評価を行ってゆきたいと考えている。

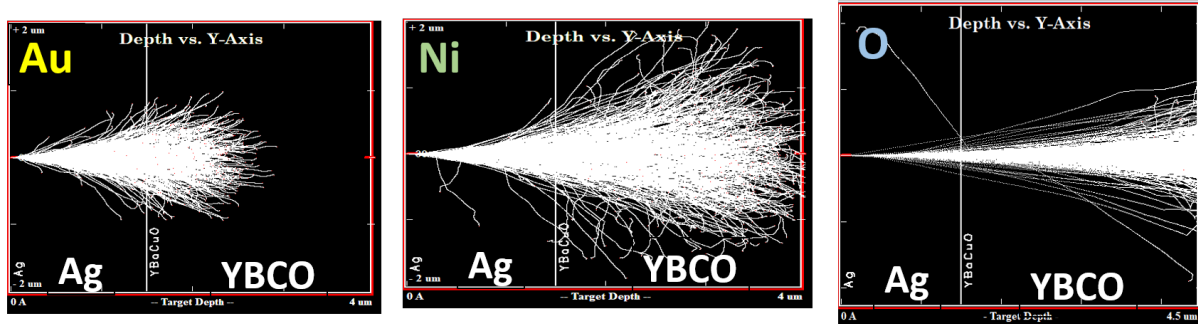


図 4: $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ の Au、Ni および O イオンの飛程シミュレーション

4. 引用(参照)文献等

- (1) Ziegler *et al.*, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B, Beam Interact. Mater. Atoms, **268** (2010)1818–1823.
- (2) Ziegler, <http://www.SRIM.org>.