

# イオン照射による高温超電導体材料中へのピンニングセンター形成

Formation of pinning centers by ion-irradiation into high-temperature superconductors

尾崎 壽紀<sup>1)</sup>, 坂根 仁<sup>2)</sup>, 長 明彦<sup>3)</sup>

Toshinori OZAKI, Hitoshi SAKANE, Akihiko OSA

<sup>1)</sup> 関西学院大学 <sup>2)</sup> 住重アテックス株式会社 <sup>3)</sup> 日本原子力研究開発機構

(概要)

高温超伝導材料にイオン照射し、形成される結晶欠陥と超伝導特性の関係を明らかにすると共に、ナノサイズの結晶欠陥を制御することで超伝導特性を飛躍的に向上させる、イオン照射技術を利用した次世代高温超伝導材料技術を確立する。

キーワード:

タンデム加速器、高温超伝導材料、Au イオン照射、臨界電流密度、超伝導転移温度

## 1. 目的

高効率エネルギー機能材料である超伝導材料は超伝導転移温度  $T_c$  以下で電気抵抗がゼロになり、臨界電流密度  $J_c$  まで電気抵抗ゼロで電流を流すことができる。そのため、超伝導材料技術を使った送電ケーブルや風力発電機などが実現されれば、エネルギーの安定的な確保とエネルギー利用の高効率化が達成されることから、超伝導材料技術は、低炭素社会を実現する中核技術として期待されている。超伝導材料技術を用いた多くのエネルギーシステムは、磁場中で超伝導を利用するため、磁場環境下で安定してより多くのゼロ抵抗電流を流さなくてはならない。そのためには、超伝導体内に侵入した量子化磁束線を、人工的に形成した結晶欠陥で“ピン止め”し、磁束の運動を抑制する必要がある。近年、比較的低いエネルギーを用いてイオン照射を行い、結晶欠陥を形成することで  $J_c$  を向上させる報告がされている<sup>1-3)</sup>。本研究では、比較的低いエネルギーでイオン照射することにより形成される結晶欠陥と超伝導特性の関係を明らかにし、形成される結晶欠陥を制御することで超伝導特性を飛躍的に向上させることを目的とする。

## 2. 方法

本実験では、Ag(3.8  $\mu\text{m}$ )/YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>y</sub>(YBCO, 2.1  $\mu\text{m}$ )/中間層/ハステロイの構造をもつ昭和電線ケーブルシステム株式会社製の超伝導線材を用いた。重イオン照射は、原子力機構東海研のタンデム加速器を使用し、Au イオンにて行った。照射方向は膜面に垂直とした。照射エネルギーは Au イオンが、超伝導層を通過するエネルギーのうちで、比較的低いエネルギーである 65 MeV とした。また、照射量は  $7.7 \times 10^{10} \sim 1.1 \times 10^{12}$  Au cm<sup>-2</sup> とした。

超伝導特性は、SQUID (超伝導量子干渉素子) を使用した、カンタムデザイン社の高感度の磁気特性測定装置(MPMS: Magnetic Property Measurement System)を用いて評価した。

## 3. 結果及び考察

図 1 に YBCO 線材に 65 MeV の Au<sup>+9</sup> イオンを照射した場合の照射量に対する  $T_c$  の変化を示す。未照射 YBCO 超伝導線材の  $T_c$  は 93.0 K を示した。照射量増加に伴い、 $T_c$  が単調減少していることがわかる。これは、Au イオン照射により結晶欠陥が形成されたためと考えられる。また、いずれの照射量においても  $T_c > 90$  K 以上の高い値を示していることが確認された。

図 2 に 65 MeV の Au<sup>+9</sup> イオンを  $7.7 \times 10^{10}$ 、 $5.2 \times 10^{11}$ 、 $1.1 \times 10^{12}$  Au cm<sup>-2</sup> の 3 つの照射量で照射した、YBCO 線材の 30 K における臨界電流密度  $J_c$  の磁場依存性を示す。自己磁場での  $J_c$  は照射前後においてあまり変化していないが、磁場中においては、いずれの照射量でも、未照射 YBCO 線材よりも高い値を示している。特に、 $5.2 \times 10^{11}$  Au cm<sup>-2</sup> においては、3 T 以上において、約 1.8 倍  $J_c$  が向上することが確認された。65 MeV の Au イオン照射によって形成された欠陥に関しては、今後 TEM などの微細構造観察

を行うことによって明らかにする予定であるが、65 MeV の Au イオン照射が臨界電流密度  $J_c$  を向上させるのに有効であることがわかった。今後は、 $J_c$  の磁場角度依存性を測定することで、形成された欠陥が与える超伝導特性について詳しく調べるとともに、照射イオン種とエネルギーを変化させることで系統的な実験を行っていく予定である。

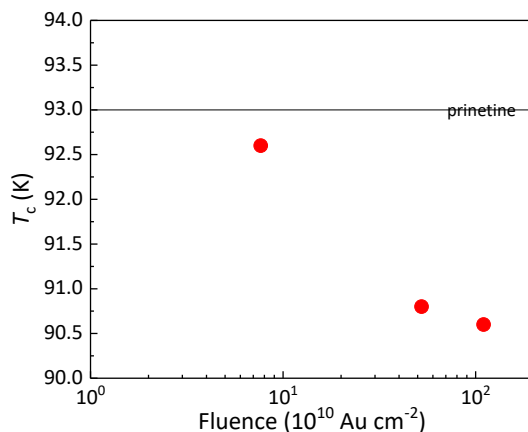


図 1. 65 MeV Au イオン照射した YBCO 超伝導線材における  $T_c$  の照射量依存性.

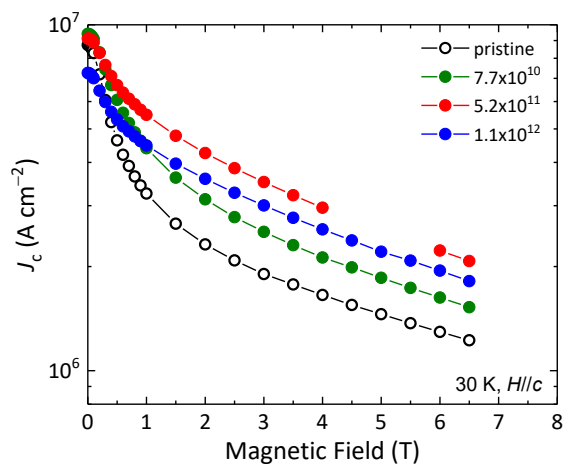


図 2. 65 MeV Au イオン照射した YBCO 超伝導線材の  $J_c$ - $B$  特性.

#### 4. 引用(参照)文献等

- 1) H. Matsui et al, Appl. Phys. Lett. 101, 232601 (2012)
- 2) Y. Jia et al, Appl. Phys. Lett. 103, 122601 (2013)
- 3) M. W. Rupich et al., IEEE Trans. Appl. Supercond. 21 6601904 (2016)