

関西学院大学 研究成果報告

2019年 4 月 18日

関西学院大学 学長殿

所属： 理工学部
職名： 准教授
氏名： 尾崎 壽紀

以下のとおり、報告いたします。

研究制度	<input type="checkbox"/> 特別研究期間 <input type="checkbox"/> 自由研究期間 <input type="checkbox"/> 大学共同研究 <input checked="" type="checkbox"/> 個人特別研究費 <input type="checkbox"/> 博士研究員 ※国際共同研究交通費補助については別様式にて作成してください。
研究課題	イオン散乱照射を利用した超高効率エネルギー機能材料の創生
研究実施場所	関西学院大学 理工学部 7号館
研究期間	2018年 4 月 1 日 ~ 2019年 3 月 31日 (12ヶ月)

◆ 研究成果概要 (2,500字程度)

上記研究課題に即して実施したことを具体的に記述してください。

高効率エネルギー無機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用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“ピン止め”し、磁束の運動を抑制する必要がある。磁束ピン止めに関しては、超伝導体内に $BaZrO_3$ 等の非超伝導相や結晶欠陥をナノサイズで分散あるいは成長させて磁束線の人工ピンニング点にするなどの研究が行われている[J. L. Macmanus-Driscoll et al., Nat. Mater., 3, 439 (2004)]。超伝導材料にナノサイズの欠陥を形成する手段の一つとして放射線の一種であるイオンビームを用いた照射効果(イオン照射)がある[L. Civale et al., Phys. Rev. Lett. 67, 648 (1991)]。これまで、イオン照射技術を用いた磁束ピン止めの形成には高いエネルギー領域(数百MeV~数GeV)で重イオンを照射する手法が主流であった。しかしながら、高エネルギー重イオン照射は結晶格子を大きく破壊してしまうため、銅酸化物高温超伝導体や鉄系超伝導体などのコヒーレンス長 ξ の短い物

質では T_c が低下してしまう。そのため、 T_c の低下を抑えつつ J_c を上昇させる欠陥をデザインすることは学術的な中心課題の一つであり、産業応用に向けて世界中で取り組まれている急務の課題である。最近、数MeV～数十MeVのエネルギーでイオン照射し、人工的に結晶欠陥を導入することで磁束線の人工ピン止め点を形成する研究が報告されている[H. Matsui et al., Appl. Phys. Lett. 101, 232601 (2012).など]が、系統的な実験が行われておらず、イオン照射により形成されるどのような欠陥が、ピン止め点として有効であるか明らかになっていない。そこで本研究では、イオン照射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した。

これまで申請者は、 $\text{FeSe}_{0.5}\text{Te}_{0.5}$ (FST)鉄系超伝導薄膜に軽いプロトンを極めて低いエネルギー(190 keV)で、かつ薄膜をアルミ箔で覆って散乱させながらソフトに照射を行った。その結果、結晶中に細い短冊状の欠陥(カスケード欠陥)とその周りに格子歪を生じさせることにより、 T_c と J_c の両方を向上させることに成功した[T. Ozaki et al. Nature Commun., 7, 13036 (2016)., 尾崎壽紀ら, 低温工学, 52, 456 (2017)]. また、FST薄膜にAuイオンを照射(6 MeV, 1×10^{12} ion/cm²)することにより、 J_c (10 K)が約2倍に向上することも明らかにした[T. Ozaki et al. Supercond. Sci. Technol., 31, 024002 (2018).].

本研究では、プロトン(H⁺)を低いエネルギーで照射したFST薄膜の J_c の磁場角度依存性と不可逆磁場 H_{irr} 及び上部臨界磁場 H_{c2} について調べた。照射したFST薄膜の J_c は、全測定角度領域において、30 Tの高磁場下で、 10^5 A/cm²という高い値を示した。また、 J_c の異方性 γ_{Jc} ($J_c^{H//ab}/J_c^{H//c}$)は、未照射薄膜と比較して、4.2 K、15 Tで約1/2になることがわかった。透過電子顕微鏡(TEM: Transmission Electron Microscope)による微細構造観察結果から、プロトン照射したFST薄膜内部には、細い短冊状の欠陥(カスケード欠陥)とその周りに格子歪を生じさせることがわかっており、これらが J_c の異方性に起因していると考えられる。照射したFST薄膜の H_{c2} の異方性 γ_{Hc2} ($H_{c2}^{H//ab}/H_{c2}^{H//c}$)に関しては、 T_c 近傍では約3.5であったが、温度の低下に伴い、異方性は低下することがわかった。

また、重いイオンを数MeVで照射した $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ 薄膜の超伝導特性を系統的に調べた。 T_c は照射量増加に伴い、単調に低下した。また、臨界電流特性は、約 $5\text{-}6 \times 10^{11}$ ion/cm²照射することで5 T付近で約40 %向上したが、更に照射量を増加させることで低下した。これは、過剰に欠陥が形成されたためと考えられる。

今後は、鉄系及び銅酸化物超伝導体における超伝導特性の更なる向上を目指して、様々なイオンの照射条件とそれによって形成される欠陥の形状や密度、分布の関係を明らかにし、超伝導特性向上のための欠陥形成技術を構築する。

以上

提出期限：研究期間終了後2ヶ月以内

※個人特別研究費：研究費支給年度終了後2ヶ月以内 博士研究員：期間終了まで

提出先：研究推進社会連携機構（NUC）

※特別研究期間、自由研究期間の報告は所属長、博士研究員は研究科委員長を経て提出してください。

◆研究成果概要は、大学ホームページにて公開します。研究遂行上大学ホームページでの公開に支障がある場合は研究推進社会連携機構までご連絡ください。