

電子顕微鏡を用いた BaHfO₃ ナノロッド添加 GdBa₂Cu₃O_y の微細構造観察

(一財) ファインセラミックスセンター ○横江大作、加藤丈晴、平山司

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 飛田浩史(現:株フジクラ)、衣斐頭、吉積正晃、
和泉輝郎、塩原融

現在、高温超電導コイルを用いた重粒子線加速器や MRI の開発を目的に、REBCO 高温超電導線材の研究が行われている。これらの機器使用環境下では、超電導線材は高磁場に曝されることが想定され、磁場中での臨界電流(I_c)特性向上を目的に、人工ピンとして超電導層に BaZrO₃ を代表とする非超電導ナノ粒子を導入する試みがなされている。また、実用化のためには超電導線材長手方向および幅方向での超電導層組織を均質化することも重要である。今回、磁場中での高 I_c 特性を得ることが知られている CeO₂/LaMnO₃/MgO/Gd-Zr-O を有する Hastelloy™ 基板上に BaHfO₃(BHO)ナノロッドを導入した GdBa₂Cu₃O_y(GdBCO)層をパルスレーザー堆積法にて成膜した超電導線材[1]にて、線材幅方向(10 mm 幅)での超電導層組織の均質性を調査するため、電子顕微鏡を用いて微細構造観察を行った結果について報告する。線材幅方向(10 mm)全体の構造把握を目的に超電導層の表面観察にて、幅方向中央部および端部の比較を行った。その結果、超電導層表面には凸部が存在しており、中央部に対して端部は多くの凸部が観察された。観察された凸部は透過電子顕微鏡(TEM)観察より、基板垂直方向に対し c 軸が傾斜した GdBCO 結晶であることがわかった。これら c 軸の傾斜した結晶内部にも BHO ナノロッドの分布が確認された。平坦な領域の超電導層を形成する GdBCO 結晶は c 軸配向しており、BHO ナノロッドは CeO₂ 基板直上より超電導層表面まで分布していた[2]。次に、集束イオンビーム(FIB)-走査型電子顕微鏡(SEM) Dual Beam system を用い、超電導線材幅方向中央部および端部の超電導層にて 3D 構築を行った。FIB-SEM Dual Beam system を用いた 3D 構築は試料の内部構造を三次元的に把握することが可能な手法である。3D 構築サイズはそれぞれ 10 μm × 10 μm × 膜厚である。得られた 3D データから、基板垂直方向に平行に c 軸配向した GdBCO 結晶(超電導電流の流れる結晶)と、 c 軸が傾斜した GdBCO 結晶(超電導電流を阻害する結晶)、第二相(CuO, BaCuO₃ 等)、Gd₂O₃、HfO₂、空隙の体積割合をそれぞれ算出した。その結果、線材中央部の超電導層に存在する c 軸配向結晶の体積割合は 91.77 %であったのに対し、線材端部の超電導層に存在する c 軸配向結晶の体積割合は 77.93 %であった。3D 解析結果より、超電導線材端部の超電導層内には中央部に比べて c 軸が傾斜した結晶が多く存在していた。そのため、超電導線材中央部に対して端部は超電導特性低下領域となっている。超電導線材の超電導層組織を均質化するためには超電導特性低下領域である端部の高配向化、もしくは切断等物理的に排除する必要がある。

謝辞：本研究は、高温超電導コイル基盤技術開発プロジェクトの一環として、経済産業省の委託及びリトリウム系超電導電力機器技術研究開発の一環として NEDO の委託により実施したものである。

[1] H. Tobita et al., *Supercond Sci Technol.* **25**, 06202 (2012).

[2] D. Yokoe et al., *J Mater Sci.* DOI 10.1007/s10853-012-6898 (2012).