縦磁界下における超伝導 Pb-In 平板の表面電界構造

Electric Field Structure on the Surface of Superconducting Pb-In Slab in Longitudinal Magnetic Field

九工大・情報工　下川 亜紀、森田 なつみ、麻野 真昭、松下 照男
Kyushu Institute of Technology;
A. Shimogawa, N. Morita, M. Asano and T. Matsushita

はじめに　真直な超伝導線材や平板などに平行な磁界(縦磁界)の下で電流を流すと縦磁界効果と呼ばれる様々な現象が観測される。それらには横磁界下に比べて臨界電流密度が向上することや、抵抗状態で負の電界が観測されることなどがある。縦磁界下では磁束線はほぼ force-free 状態にあることが知られており、この状態では磁束線に Lorentz 力が働かないことから、エネルギーの散逸は磁束線の運動によるものではないという解釈がなされている。一方で force-free 状態において磁束線は電流密度に比例したモーメントが働くことが予想されており、これによる磁束線の運動の結果として抵抗状態での表面電界構造が説明されている[1)]。このことはエネルギー散逸が磁束線の運動によることを示唆している。本研究では超伝導 Pb-In 平板におけるエネルギー散逸の原因を明らかにするために電流 - 電圧特性を測定し、抵抗状態における表面電界構造について調べた。

測定　本研究では Pb-In の試料を圧延して平板状に加工したものを用い、四端子法で実験を行った。試料の断面積は 0.2 mm×2 mm 程度で、電圧リードは試料の長さ方向に対して 2 列に、それぞれ 1mm 間隔に取り付けた(図 1)。これに 4.2 K で試料の長さ方向に磁界をかけた場合の臨界電流密度の測定、およびそれ以上の電流密度を流したときの各端子の電位の測定を行った。

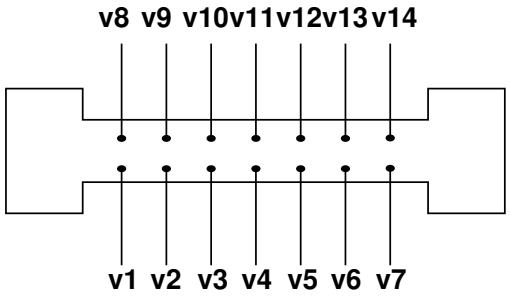

図 1: 電圧端子の取り付け。

結果及び検討　図 2 に試料の長さ方向における各端子間の抵抗率の場所依存性を示す。L は電圧端子 V_2-V_9 間からの距離であり、電圧端子 V_{12}-V_{13} 間で電流の方向と逆になるような負性の電界が現れた。一般に縦磁界下では電界は Josephson の式からはずれ、$\boldsymbol{E} = \boldsymbol{B} \times \boldsymbol{v} - \mathrm{grad}\Psi$ の形になることが知られている。ここで $\boldsymbol{B}$ は磁束密度、$\boldsymbol{v}$ は磁束線の速度であり、Ψ はスカラー関数

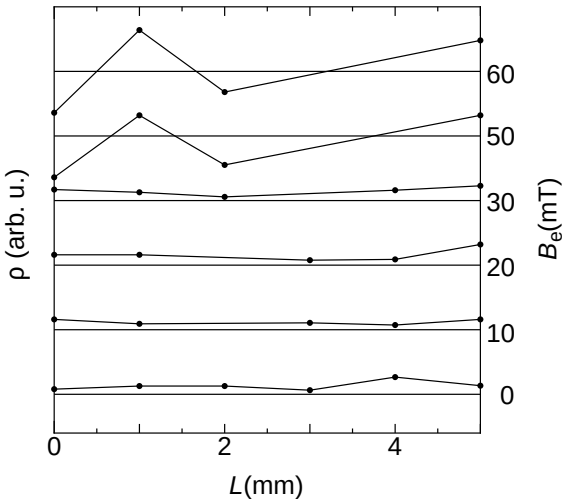

図 2: 抵抗率の磁界依存性。

である。負性の電界は円柱試料と同様、この式の $B \times v$ の項により生じたものと考えられる。

また、縦方向と横方向の電界から超伝導体表面での電界の方向を求めた。図 3 のように表面磁界に対する電界の角度 θ を定義する。この θ が空間および磁界でどのように変わるかを図 4 に示す。これによれば図 2 で負性の電界が現れる場所で角度が負となっている。これはその領域において磁束線の速度 v の方向が超伝導体外に向いているために $B \times v$ の項を通して負の電界が現れているものと解釈される。したがって、縦磁界下における電界の発生は円柱状超伝導体と同様に磁束線の運動に起因するものであり、この運動は磁束線に働く force-free モーメントによって起こると考えられる。なお、$B \times v$ は試料内で平均すれば磁束の連続性より 0 となり、$-\mathrm{grad}\Psi$ の項のみが残る。したがって、エネルギー散逸はこの項に含まれている。この項も速度 v に依存しており、したがってエネルギー散逸が直接、磁束線の運動からもたらされていると結論される。

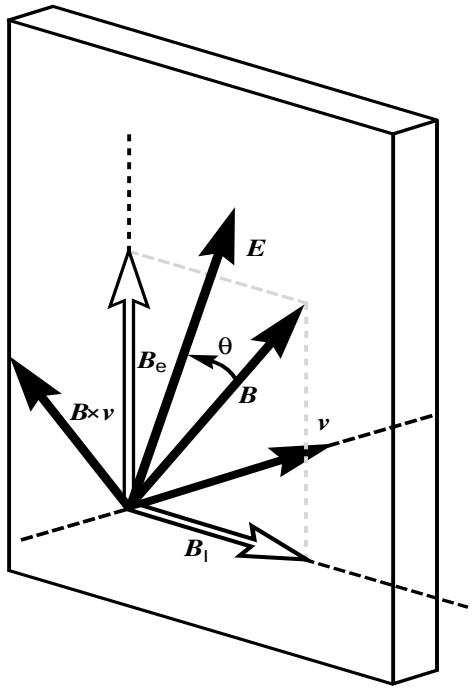

図 3: 表面での磁界と電界の方向。

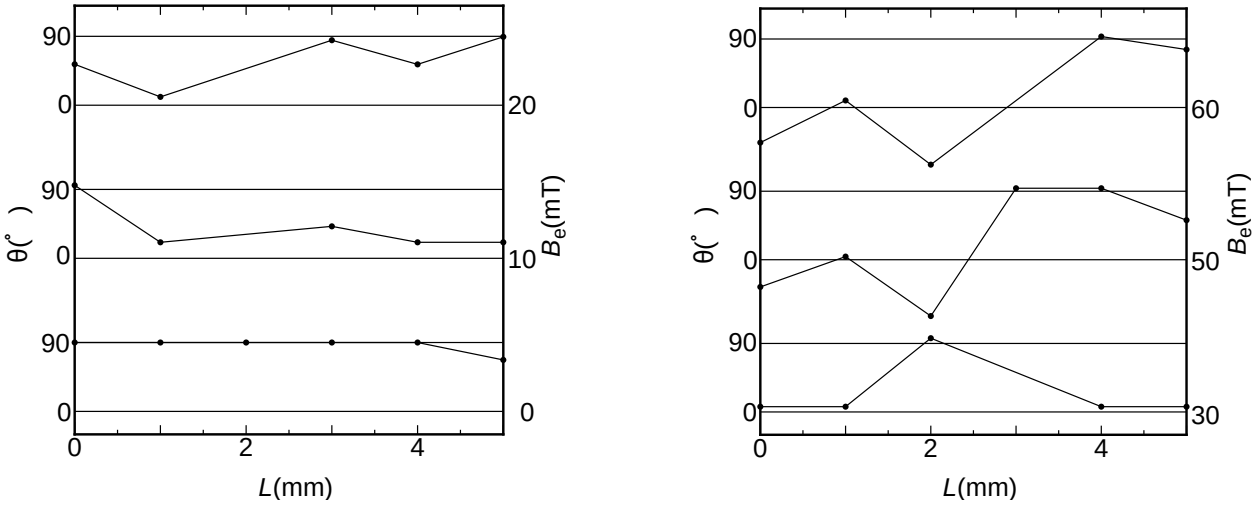

図 4: 磁界に対する電界の角度。

【参考文献】

1) T. Matsushita and F. Irie : J. Phys. Soc. Jpn. 54 (1985) 1066.