組織欠陥を内包した多結晶超伝導材料の輸送モデリング: 希薄欠陥による局所的迂回効果

Modeling of transport in polycrystalline superconductors with microstructural defects: Analysis of local detour effects of transport current by diluted voids

東京農工大学, JST-CREST ○(M2)小原 拓也, 山本 明保

Tokyo Univ. of Agricul. & Technol., JST-CREST ○Takuya Obara, Akiyasu Yamamoto

E-mail: s198234r@st.go.tuat.ac.jp

背景：ポーラスな系における輸送現象を記述するモデルとしてパーコレーションモデルがある。我々は不純物や空隙などの組織欠陥を内包した多結晶超伝導材料の常伝導状態の輸送機構をモデル化し、絶縁相（空隙）の割合を系統的に変化させた系で数値シミュレーションを行い、伝導機構に及ぼす影響について定量的に解析した[1]。コネクティビティ K 以上の電流値を持つローカルなボンド電流($|I_x|, |I_y|, |I_z| \geq K$)の割合は、欠陥濃度が希薄な $P>\sim0.9$ の場合に異常なディップが見られた[1]。これは空隙が希薄な場合に作用する電流制限機構の存在を示唆する。本研究ではディップの起源を解明するため、希薄欠陥領域に着目し局所的なボンド電流の統計的解析を行った。

方法：組織欠陥を内包した多結晶超伝導材料の常伝導状態における輸送機構を 3 次元立方サイト過程によるランダム抵抗網でモデル化した。絶縁相は開サイト、超伝導相は閉サイトとし、閉サイト間の結合を電流が流れる閉ボンドと定義した。系の x 両端に電圧を印加して数値シミュレーションを行い、x(//V)、y、z 方向の閉ボンドを流れる電流 I_x、I_y、I_z を統計的に分析した。

結果：x(//V)、y、z 方向のボンド電流 I_x、I_y、I_z のヒストグラム分布を Fig. 1(a), (b)に示す。$P>\sim0.9$ の場合に $I_x\sim1$ の主ピークの他に $I_x\sim0.8$ に小ピークが見られ、$|I_y|$、$|I_z|$でも~0.2 で見られた。簡単のため 2 次元系で 2 個の開サイトの周囲の I_x/K 値を可視化した結果を Fig. 2 に示す。開サイトの x 前後で I_x が減少する現象（≡「シャドー効果」）が観察された。電流は、孤立した開サイト周囲で x と垂直な方向に迂回して流れるため局所的な I_x の増減が生じたと考えられる。P = 0.99(開サイト 1%)の時､開サイトの x 方向前後の第 1 近接までのボンドで I_x が減少し K を下回るとすると、12.2%のボンドで$|I_x|<K$ と見積もられ、$P=0.99$ のディップを説明する。この仮定では開サイトを回り込む際に、開サイトの前後において x 方向のボンドの数が 5→4 に減少することから I_x は 4/5 = 0.8 に減少し、この電流が±yz 方向に迂回することで$|I_y|$、$|I_z|$は 0.8/4 = 0.2 となると予想され、$I_x\sim0.8$ と$|I_y|$、$|I_z|\sim0.2$ の小ピークを説明できる。講演では 2 次元系との比較についても考察する。

[1] T. Obara and A. Yamamoto, *Supercond. Sci. Technol* **33**, 074004 1-7 (2020)

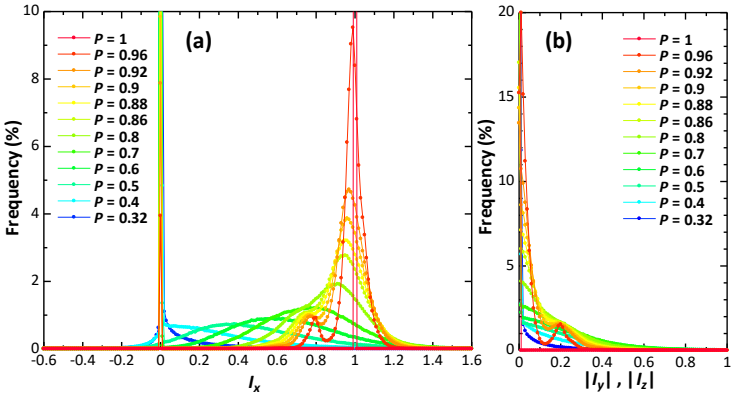


Fig. 1 Histograms of bond currents parallel to the x-axis (I_x), y-axis ($|I_y|$), and z-axis ($|I_z|$) for 3D system with different packing factors P.

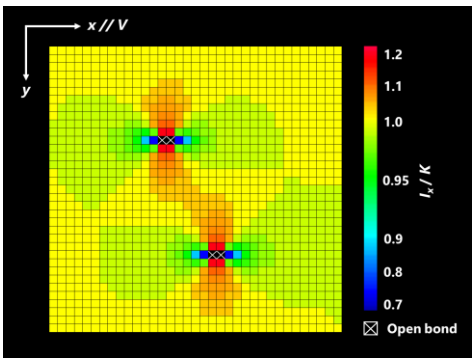


Fig. 2 The distribution of I_x in 2D system. The color of each element corresponds to the intensity I_x/K displayed in the color map.

© 2020年 応用物理学会