

ギンツブルグ-ランダウ方程式による APC ドープ REBCO 線材の 臨界電流の最適化

Optimizing critical currents of APC-doped REBCO coated conductors

by the Ginzburg-Landau equation

○松本 要、堀出朋哉 (九工大)

°Kaname Matsumoto, Tomoya Horie (Kyushu Inst. Technol.)

E-mail: matsu@post.matsc.kyutech.ac.jp

I. Introduction

REBa₂Cu₃O_{7-x} (REBCO, RE=希土類) 薄膜線材の臨界電流密度 J_c を、特定の温度 T および磁場 B で最適化することは高磁場コイル応用等で大変重要である。そのためには、導入された人工ピン止め点(APC)が量子渦の運動をどのようにピン止めするかについて詳細に調べる必要がある。本研究ではナノロッド APC を導入した REBCO 線材の低温・高磁場における J_c - B , F_p - B 特性に関して大規模な時間依存 GL(TDGL)シミュレーションを実行することで、APC ナノ組織が特性に与える影響について明らかにすることを目的とした。

II. Method

次式で示される TDGL 方程式は量子渦を記述する信頼性の高いモデルである。

$$(\partial_t + i\mu)\psi = \varepsilon(\mathbf{r})\psi - |\psi|^2\psi + (\nabla - i\mathbf{A})^2\psi + \zeta(\mathbf{r}, t)$$

$$\kappa^2 \nabla \times (\nabla \times \mathbf{A}) = \mathbf{J}_N + \mathbf{J}_S$$

この方程式を数値的に解いて超伝導体内部で生じる電界 E と通電電流 J との関係プロットすることで、任意の T , B における $J_c(T, B)$ を導出できる。本 TDGL 計算は現実に近い APC ナノ組織を想定し、公開されている論文中的数据等^{1), 2), 3)}を参考に仮想的なナノロッド分布や酸素欠損分布を入力パラメータとして実行した。温度、磁場入力パラメータとしては 4.2 K および B/c , 0~30 T を想定した。

III. Results and Discussion

参照した APC 導入 REBCO 線材の巨視的ピン止め力 $F_p (= J_c \times B)$ の最大値は、APC 濃度に応じて 0.7~1.7 TN/m³ で変化した。APC 濃度が高い場合、 F_p は 8~10 T で 1.7 TN/m³ のピークに達しプラトーを形成した。プラトーは測定上限 25 T の高磁場領域まで続いた。APC 濃度が低

い場合 F_p 最大値は半分減少するが高磁場側に向かって徐々に増加した。一方、TDGL シミュレーションによると、APC 濃度が高い場合 F_p は 8~10 T 付近で同様に約 1.7 TN/m³ に達し、 F_p 値は飽和してプラトー状態になった。また APC 濃度を半分にすると F_p 最大値は半分減少するがやはり高磁場まで F_p の増大が続いており実験結果をほぼ正確に再現することができた。計算による電流-電圧特性の一例を図 1

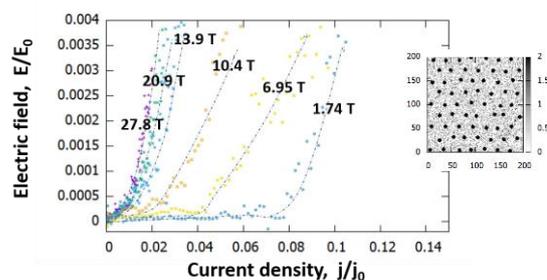


図 1 TDGL 計算結果の一例

に示す。これより大規模 TDGL シミュレーションを実行することで APC を導入した REBCO 薄膜線材の実験的な J_c 値をほぼ正確に予測できることが期待できる。ナノ粒子や酸素空孔などの追加のランダムピンの導入効果も計算に組み込むことが可能である。特に高磁場特性の理解には酸素欠損の追加・共同効果の理解が重要である。与えられた T および B 条件下で J_c を最大化する APC の最適分布は入力パラメータと F_p 値との関係を詳しく調べることで予測でき、実際の複雑な APC ナノ構造を REBCO 薄膜線材の性能を向上させるのに役立つものと考えられる。

References

- 1) A. Xu *et al.*, *APL mater* **2**, 046111, 2014.
- 2) S. Miura *et al.*, *APL Mater* **4**, 016102, 2016.
- 3) T. Horide *et al.*, *SUST* **33**, 105003, 2020.