



## 17. 高温超伝導体磁束液体相での対破壊効果

## Large Pair-breaking in the Vortex Liquid Phase of HTSC

東大・総合文化 前田 京剛・土屋 良重・坪井 隆・岩谷 克也  
東大・応用化学 花栗 哲郎

*Dep. Basic Science, The Univ. Tokyo,*

*A. Maeda, Y. Tsuchiya, T. Tsuboi and K. Iwaya*

*Dep. Appl. Chemistry, The Univ. Tokyo, T. Hanaguri*

## 1. はじめに

磁束のダイナミクスは磁束コアの電子状態と密接に関連している。特に、高温超伝導体では、対波動関数の主成分が  $d$  波的事であることが確立しており、その場合のコアの電子状態に関しては、実験と理論とで一致を見ていない。さらには、 $d$  波の磁束のダイナミクスには、従来超伝導体に無い、新しい現象が潜んでいる可能性もあり、興味つきない。

我々は、高温超伝導体のなかでも、最も二次元的な BSCCO 系において、初めて磁束融解転移をまたいで、高周波伝導度を測定し、融解転移および磁束液体状態において大きな対破壊効果を発見した。本講演では、その紹介と、この現象の意味するものを議論する。

## 2. 実験

試料は FZ 法で用意した単結晶を用いた。ポストアニールにより、ほぼ最適ドープの状態にある試料において高周波伝導度測定を行った。

高周波伝導度測定は、19-100 GHz において、空洞共振機振動法を用いて行った。ピン止めによる磁場分布の不均一性の影響や、磁歪の効果を避けるために、測定は、基本的には、一定磁場を加え、磁場中冷却（温度スイープ）の条件で行った。磁束融解転移近傍の非常に詳細な磁場依存性を問題にする場合のみ、磁場スイープの測定を行った。この場合も、磁場スイープと温度スイープで測定結果が本質的には異なっていないことを確認した。

## 3. 実験結果と考察

図1は、ゼロ磁場及び7 T の磁場下での表面インピーダンスの温度依存性である。また、ゼロ磁場の磁場侵入長  $\lambda_L$  の温度依存性を挿入図として示してある。ゼロ磁場の  $\lambda_L$  は、 $T$ -linear の振る舞いを示しており、またその傾きの値等からも、この試料は、clean  $d$  wave の超伝導体の振る舞いをしていることが分かる。

この測定を様々な磁場で繰り返し行うことにより、図2に示した、表面抵抗の磁場依存性を得る。表面抵抗  $R_s$  は高磁場では磁場の  $1/2$  乗に比例しており、一見 Bardeen-Stephen タイプのフラックスフローの様に見えるが、この領域でも、常に、表面リアクタンス  $X_s$  の方が  $R_s$  より大きい。従って、磁場の  $1/2$  乗に  $R_s$  が比例しているのは、Bardeen-Stephen タイプのフラックスフローではないことが分かる。従って、この振る舞いから、磁束の粘性を議論するのは誤りである。

低磁場では、 $X_s$  に大きな異常が見える。同じことを、有効磁場侵入長の実部という形で表現したのが、図3である。この結果を、同じ試料で測定した、磁場-温度相図と比較してみると、異常は、丁度、磁束格子融解転移あるいは、「ピーク効果」磁場で発生していることが分かった。従って、磁束格子が三次元固体格子を組まなくなるときに、この異常が発生していることが分かる。

有効磁場侵入長には、今の場合、ピン止めの効果（いわゆる Campbel depth）と超流体の遮蔽の効果（ロンドン侵入長）の二種類が寄与する。上で報告した実効磁場侵入長の異常は、このどちらによって引き起こされているのかを初めに議論しよう。もし、ピン止めの効果でこの異常が表れ得るとすると、それは、磁束が融解転移後に、ピン止から開放されたために起こる現象であることになる。この場合、複素抵抗率の実部の変化  $\Delta\rho_1$  に対する  $\Delta\rho_2$  の変化の比は、磁束液体相で減少しなければならない。これに対して、実

験データは、それと全く逆に、比の値は、増加することを示している (図 4) . 従って、磁束格子融解における実行侵入長の異常 (増大) を引き起こしているのは、ピン止めの効果ではなく、超流体の数そのものであるということがわかる. すなわち、磁束格子が三次元的な固体構造を組まなくなると、超流体の数が急に減少する、すなわち対破壊効果を引き起こすことがわかったことになる.

磁束格子の構造の変化が超流体の数、あるいは、超伝導状態の準粒子の電子状態に大きな影響を与えることは、非常に驚きである. 少なくとも、*s* 波の超伝導体の様に、準粒子が磁束コアの中に局在しているような場合は、単純には、そのような変化は期待されない様に思われ、ここで報告した異常は、*d* 波超伝導体の新しい効果の様にも思われる. しかしながら、定量的な検討を行ってみると、例えば、いわゆる *d* 波超伝導体のドップラーシフトを考慮しても、全てのデータを整合性よく説明することは困難である. また、逆に、液体状態では、全てのデータを対破壊効果だけで説明することは困難である. 従って、今後、磁束の運動と対破壊効果の両方を考慮して定量的な解析を行わなければ、この現象についてのさらなる理解は困難である. 例えば、図 5 に示した、異なる周波数における比較をみても、両者が寄与していることは明らかである. 従って、今後は、より詳細な周波数依存性のデータが必要である. これについては、現在研究が進行中である.

最後に、我々が走査したパラメーター範囲は、最近プリンストン大学のグループが報告している熱伝導度の異常の起こる温度-磁場領域をカバーしているが、我々の測定では、今のところ、対応する温度あるいは磁場に、特に異常は発見されていない. 今後、同一試料での高周波伝導度と熱伝導度の比較検討をおこなう予定である.

4. 結論

高温超伝導体 BSCCO 系において、磁束格子融解転移点及び磁束液体状態で、大きな対破壊効果があることを発見した. これは、*d* 波超伝導体の新しい効果である可能性もあるが、定量的には、現時点では、満足の行く理解ができていない. 今後、実験および理論両面からさらに詳細に定量性を調べることが必要である.

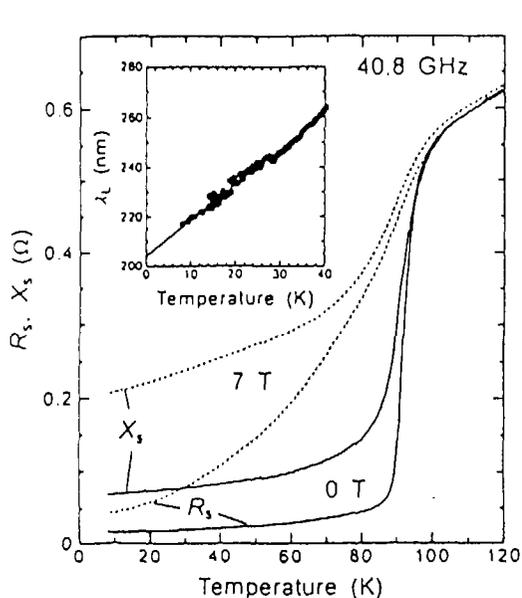


図 1

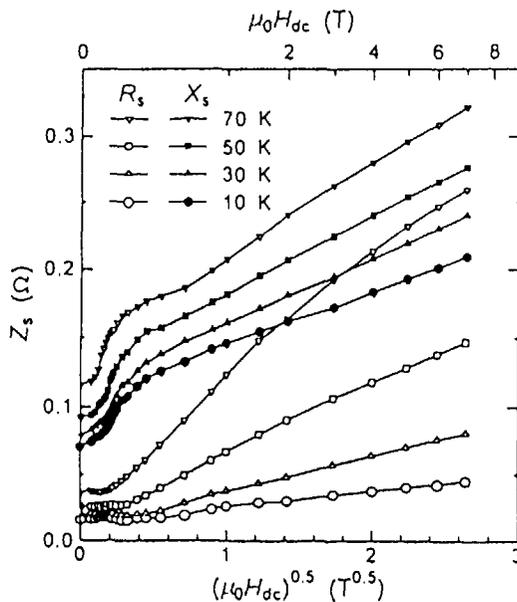


図 2

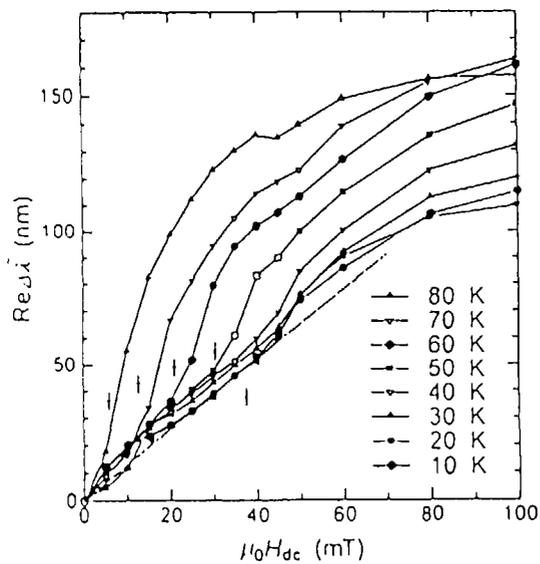


図 3

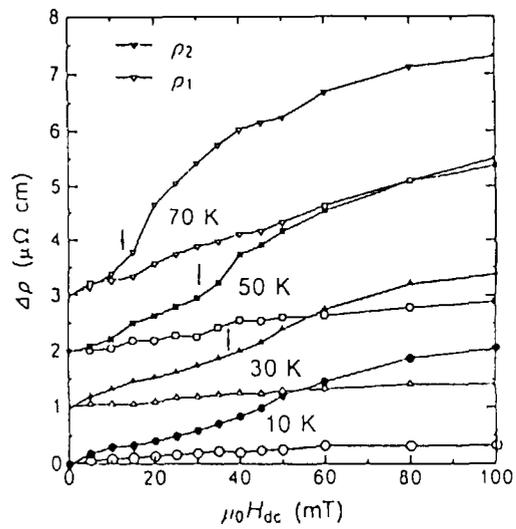


図 4

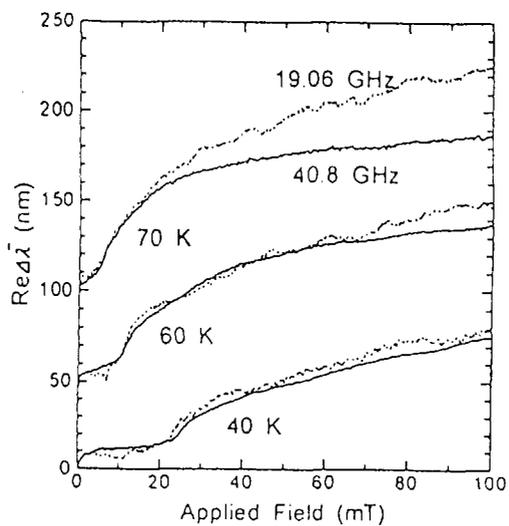


図 5