



Title	Josephson Plasma Phenomena in High Temperature Superconductor Bi ₂ Sr ₂ CaCu ₂ O _{8+δ}
Author(s)	掛谷, 一弘
Citation	大阪大学, 1998, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.11501/3144112
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏 名	掛 谷 一 弘
博士の専攻分野の名称	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	第 14080 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 10 年 6 月 30 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 理学研究科 物理学専攻
学 位 論 文 名	Josephson Plasma Phenomena in High Temperature Superconductor $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ (高温超伝導体 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ におけるジョセフソン・プラズマ現象)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 都 福仁 (副査) 教 授 河原崎修三 教 授 阿久津泰弘 助教授 金道 浩一 助教授 門脇 和男

論 文 内 容 の 要 旨

高温超伝導体は主に電気伝導を担う 2 次元 CuO_2 面が層状に積み重なった結晶構造を持つため、大きな電気伝導の異方性が現れ、 c 軸方向の超伝導特性は各層のジョセフソン弱結合によりもたらされている。その結果、高温超伝導体では従来の金属超伝導体では見られない興味深い現象が観測できる。その一つがジョセフソン・プラズマと呼ばれる低エネルギーのプラズマ現象である。クーパー対の集団的な励起モードであるプラズモンの励起エネルギーは等方的超伝導体では超伝導ギャップを大きく上回り、プラズマの観測は困難であるが、高温超伝導体の c 軸方向では異方性を反映してギャップの内側まで下降し、観測可能となる。また、外部磁場により侵入した渦糸はプラズマ振動数を劇的に減少させて、高温超伝導体のなかでも最も異方性の大きい $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ においてはマイクロ波領域での共鳴吸収現象として観測できる。本論文に記述されているジョセフソン・プラズマ現象についての研究内容を以下に略述する。

1. ジョセフソン・プラズマには縦横二つのモードが存在すると理論的に指摘されている。プラズマの分極と波数ベクトル (\mathbf{k}) が垂直な横プラズマの分散関係は強い \mathbf{k} 依存性を示すのに対し、平行な縦プラズマはほとんど分散を持たない。これまでにジョセフソン・プラズマに関する実験的研究は幾つか報告されているが、この二つのモードに言及した研究はなされていなかった。横モードが単なる電磁応答であるのに対し、縦モードは本質的な超伝導プラズモン（超伝導体における南部-Goldstone モード）に相当し、それらを分離することは非常に大きな意味があるといえる。

本研究では、二つのモードの分散関係を反映する試料サイズ依存性の違いを用い、これらを分離することに成功した。空洞共振器を用いることによりマイクロ波 (35 GHz) の振動電磁場 (\mathbf{E}_{rf} 及び \mathbf{H}_{rf}) を分離し、試料の結晶軸に対して $\mathbf{E}_{\text{rf}} \parallel c$ または $\mathbf{H}_{\text{rf}} \parallel ab$ となる空洞共振器内の適当な位置に試料を置いて共鳴の試料サイズ依存性を測定した結果、 $\mathbf{H}_{\text{rf}} \parallel ab$ において観測される共鳴だけが強い試料サイズ依存性を見せた。したがって、 $\mathbf{E}_{\text{rf}} \parallel c$ の条件で縦モードが、 $\mathbf{H}_{\text{rf}} \parallel ab$ の条件で横モードがそれぞれ励起されるということが解った。

2. 高温超伝導体の磁束状態では系の異方性や温度によって様々な相が現れるため、各方面で精力的な研究がなさ

れている。ジョセフソン・プラズマは磁束状態に対する唯一かつ非常に強力な微視的探針であるといえ、それまでマクロ測定中心であった磁束系の研究に新概念を与える可能性がある。本研究では $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ 単結晶の c 軸方向に重イオンを照射して強いピン止め中心（柱状欠陥）を導入し、 CuO_2 層の相関を様々に変えた試料についてジョセフソン・プラズマ共鳴の研究を系統的に行った。非照射試料の磁場角度依存性はすべての温度範囲で結晶構造を反映して 2 次元的である。一方、重イオン照射を施した試料においては低温領域で 3 次元的な振る舞いに近づいていくが、 T_c 近傍の高温域では 2 次元的な振る舞いをする。これは、低温では柱状欠陥に磁束が入ることにより CuO_2 層間のコヒーレンスが高くなり、その結果 3 次元性が強まり、高温では熱揺らぎにより磁束が柱状欠陥を逃れて非照射試料と実質的に変わらなくなっているためであると考えられる。以上の実験結果を受けて、すべての磁束状態をジョセフソン・プラズマ共鳴によって記述できる普遍的な形式を導き、そこで導入した有効異方性パラメーターによって系の磁束状態を定量的に記述することができた。

論文審査の結果の要旨

高温超伝導体の研究において解明すべき問題は、その発現機構のみならず、あらゆる超伝導状態の本質である超伝導電子の位相の整合性（coherence）を知ることにある。多層ジョセフソン接合系である高温超伝導体、特に $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ (BSCCO) において見られる超伝導電子の集団励起モードであるジョセフソン・プラズマは c 軸方向の coherence を直接観測できる数少ない手段である。

本研究の意義を以下に挙げる。

まず第一に、それまでに理論的に予測されていたものの、実験的には区別されて議論されていなかった縦モードと横モードを空腔共振器を用いた精密な実験により系統的に区別できたことである。これによって、本質的な超伝導プラズモンである縦モードを励起できる方法が確立された。この事は超伝導体における南部-Goldstone ポゾンの観測も示唆している。第二は、様々な磁束状態におけるジョセフソン・プラズマの系統的な測定によって高温超伝導体の磁束状態を明快に記述できる表式を導入したことにある。これにより、高温超伝導体のあらゆる磁束状態における c 軸方向の coherence を統一的に記述できた。

以上、本研究は他ではなされないであろう非常に独創的なものであり、超伝導の研究における新たな概念を与える可能性があるといえる。よって、博士（理学）論文にふさわしい価値を持つと認める。