

「量子効果等の物理現象」

平成 9 年度採択研究代表者

井口 家成

(東京工業大学理学部 教授)

「異方的超伝導体の量子効果と新電磁波機能発現の研究」

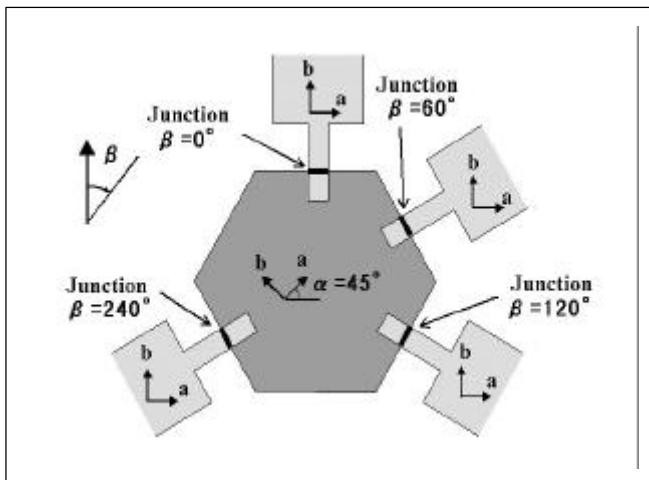
1. 研究実施の概要

研究も 2 年目に入り、大型装置が次々導入され研究に必要な道具立てはほぼ整ったと考えられる。平成 10 年度は大型装置の立ち上げ、およびこれを用いた本格的な研究がスタートした。量子効果の研究では良質なジョセフソン接合、トンネル接合の作製、延いては良質な薄膜の成長が重要であり、その条件を最適化するために多大な時間を費やした。また新電磁波機能の研究では微弱な電磁波測定技術を体得することが肝要であり、研究実施はこのような背景の中で行われたが、以下に示すようにいくつもの注目すべき成果が得られた。

2. 研究実施内容

研究は基礎物理実験グループ、素子開発グループ、新電磁波機能グループ、理論解析グループに分かれて進めている。各グループの主な研究実施内容を個別に述べていく。

基礎物理実験グループでは、異方的 d 波超伝導体の特性と量子効果を中心に研究を進めてきた。特に目覚ましい成果が出ているのは高温超伝導 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}/\text{I}/\text{Ag}$ トンネル接合におけるゼロバイアスコンダクタンスのふるまいについてである。理論によれば異方的 d 波超伝導体の場合、BCS 理論による s 波超伝導体とは異なり、超伝導ギャップ内のゼロエネルギーのレベルに、準粒子の束縛状態に基づく状態密度のピークが出現する。これは接合界面とペアポテンシャルの波動関数のなす角度が有限のとき起こる。したがって $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$ の結晶方向と接合面の角度を変えた接合の測定を行うと、ゼロバイアスコ

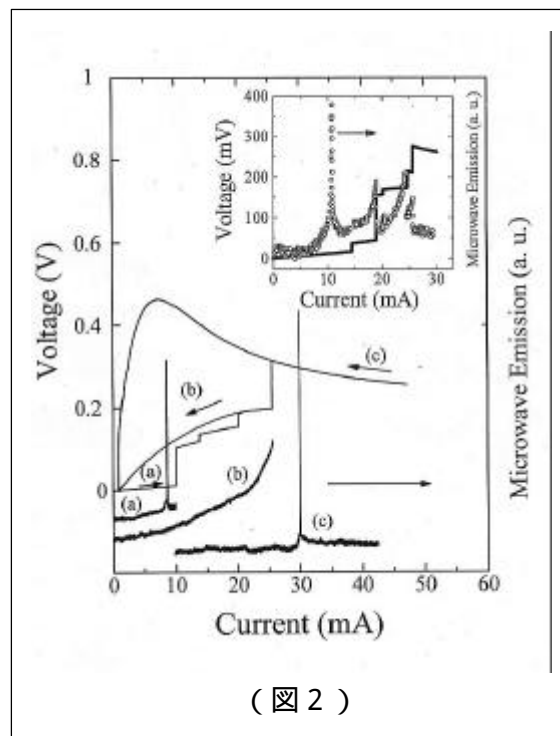


(図 1)

ンダクタンスの差が見られることになる。これまでの実験では、このような角度依存性の測定は全く行われていない。実験では図1のようなランプエッジ接合試料を作製し、測定したところ相対角度45°で最大のピーク、0°ではピークがほとんど見られないという、理論と合致する結果が得られた。

素子開発グループは、上記d波超伝導体の空間依存量子効果の特性を生かした新しい2次元ジョセフソンインテリジェントデバイスを目指した研究を行っている。同一基板上にバッファ層を用い、配向の異なる2種のYBCO薄膜を成長させ、これを図のように微細加工することによって複数の $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}/\text{PrBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}/\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$ ランプエッジ接合を作製した。そして角度の異なる電極間でジョセフソン電流が流れることを確認した。またマイクロ波照射でシャピロステップを観測できた。しかしd波超伝導体に特有なジョセフソン電流の温度特性のふるまいについては未だ確認できていなく、引き続き研究を進めている。これには界面の平坦性、良質な薄膜の成長が鍵を握っていると考えられる。

新電磁波機能グループでは、ジョセフソンプラズマ放射の研究でかなりの進展があったほか、レーザー光を用いた超伝導電流の可視化技術でも大きな発展があった。準粒子注入トンネル接合からの電磁波放射の研究では、 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ 単結晶を微細加工してメサ構造を作製し、これにAuの電極を取りつけて準粒子注入を行うと、11GHz-47GHzの受信周波数でブロードバンドなマイクロ波放射および鋭いマイクロ波放射が観測されることを発見した(図2参照)。



(図 2)

鋭いマイクロ波放射はジョセフソンプラズマ発振現象を考えると、極めて矛盾無く説明できるので、我々はジョセフソンプラズマ放射の初めての観測と判断している。この発見は将来のジョセフソンプラズマレーザの開発にも結びつくものと考えている。一方、レーザーパルス励起によるテラヘルツ電磁波放射の超伝導電流マッピングについては、偏光特性を用いてカラーからベクトルマッピングに発展させることに成功した。その原理は以下のとおりである。放射されるテラヘルツ波の振幅は光照射場所の電流密度に比例し、電流の流れる方向に偏光している。従って、レーザー光を絞って試料に照射し、2次元

的に走査しながら、放射されるテラヘルツ波の互いに直行する偏光成分を測定すれば、電流の向きと大きさを求めることができる。実際に 7mT の磁場下で臨界温度以下に冷却し、磁場除去後に測定したデータでは超伝導電流は試料の端を流れ、かつ、上側と下側では電流が逆向きに流れているのがわかった。これは、薄膜内に磁束が侵入しており、それに付随して永久電流が流れていることによる。

理論研究については、名大と電総研から強磁性体を含むトンネル接合系で、有用な計算結果が提示された。電総研のグループは強磁性体と d 波超伝導体からなる新しいトンネル効果について、スピン分極トンネル分光理論を展開し、大変興味ある結果を得ることができた。アンドレーフ反射の性質は、強磁性体の中で交換場の存在のために大きく変調される。その結果、入射角によってはアンドレーフ反射された準粒子はエバネッセント波のふるまいをすることがわかった。名大の理論グループは、これまでの異方的 d 波超伝導体のトンネル効果、ジョセフソン効果の計算をさらに発展させて、磁性体、ラフネス効果などに対しより深い理解を得た。d 波超伝導体のトンネル効果の場合、強磁性あるいは強磁性絶縁体を含んでいる場合の接合を研究して、ゼロバイアスコンダクタンスピークの抑制効果などを明確にした。またペアポテンシャルの空間変化もとりにれた詳細な計算を行った。ジョセフソン効果については、界面のラフネスの効果を調べたほか、強磁性体のはいったジョセフソン接合系を様々な場合に対してしらべた。一方、より基礎的なアプローチの面からは、高温超伝導体の有力なモデルの 1 つである t-J モデルを用いて、表面状態、不純物の周辺さらに接合系の詳細な計算が行われている。特に不純物のまわりの計算は最近の Berkeley の実験を説明することができた。さらに異方的 p 波超伝導体におけるトンネル効果、ジョセフソン効果の研究を行い、 Sr_2RuO_4 におけるいくつかの実験結果を説明することに成功した。

3 . 主な研究成果の発表 (論文発表)

I. Iguchi and T. Yasuda “ Observation of anomalously long relaxation phenomena in Pb_3BiS_x thin films under pulsed magnetic field ” Physica C 298 (1998) 299-304

K. Lee, I. Iguchi, H. Arie and E. Kume, “Microwave emission from dc-biased high Tc YBCO junctions”, Jpn. J Appl. Phys. 37 (1998),L287-L280.

久米英司、有江寛之、杉本暁、山口仁、李基鎮、井口家成、”高温超伝導薄膜への準粒子注入による輸送特性とマイクロ波放射の観測”、Technical Report of IEICE SCE97-41(1998-01) (1998), p.37-41.

他 33 件