



Title	酸化物高温超伝導体の超伝導状態の対称性：電子ラマン分光による最近の研究から
Author(s)	山中, 明生
Citation	電子科学研究, 4, 87-89
Issue Date	1997-02
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/24383
Type	departmental bulletin paper
File Information	4_P87-89.pdf



酸化物高温超伝導体の超伝導状態の対称性

— 電子ラマン分光による最近の研究から —

量子機能素子研究分野 山中 明 生

銅酸化物高温超伝導体の超伝導状態の対称性を明らかにするために、電子ラマン散乱分光実験を行った。低エネルギー領域の電子ラマン散乱強度の温度変化が、著しい入射光・散乱光偏光ベクトル依存性を示すことを見出した。この温度依存性・偏光依存性から、銅酸化物の超伝導状態の対称性は d 波であると考えられる。

1. はじめに

超伝導発現機構解明のために最も重要な情報は、超伝導状態（超伝導ギャップ）の対称性である。例えば、超伝導電子対（クーパー対）形成が格子振動を媒介として生じる場合、超伝導対の状態は s 波対称性を持つ。一方、反強磁性揺らぎが超伝導対を形成する場合は、 d 波対称性が予想される。従って、超伝導対の対称性（超伝導ギャップの波数ベクトル依存性）を明らかにする事により、高温超伝導の起源が明らかになる。ここでは電子ラマン分光による超伝導状態の対称性に関する研究の現状を紹介する。

2. 電子ラマン分光とは

電子ラマン分光では、フェルミ準位より低いエネルギーの状態からフェルミ準位より高エネルギー状態への電子励起過程を直接観測できる^[1]。この場合、その強度散乱は伝導電子の有効質量の逆数 $\gamma(\mathbf{k})$ の2乗に比例し、バンド分散 $\epsilon(\mathbf{k})$ により以下のように与えられる、

$$\gamma(\mathbf{k}) = \frac{m}{\hbar^2} \sum_{i,j} e_i^j \cdot \frac{\partial \epsilon(\mathbf{k})}{\partial k_i \partial k_j} \cdot e_j^s,$$

e^i , e^s は入射光・散乱光の偏光ベクトルである。 e^i , e^s の組が、点群 D_{4h} の B_{1g} 表現に属するとき、2次元フェルミ面上で斜線を付けた領域の電子応答が、主に観測できる（図1）。一方、 B_{2g} 表現に属する組では、斜線のない領域が観測できる。従って電子ラマン分光では、入射光・散乱光の偏光方向を実験的に選択することにより、フェルミ面の異なる領域の電子応答を選

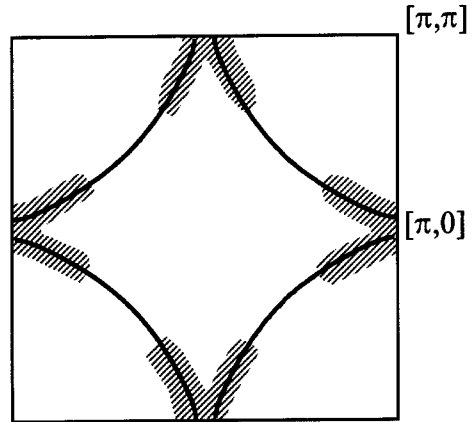


図1 タイトバインドモデルで予想される2次元フェルミ面。斜線をつけた領域が B_{1g} 偏光配置で観測される。一方斜線のない領域は B_{2g} 散乱配置で観測できる。

択的に観測することが可能である^[2]。

3. 低エネルギー電子ラマン応答

酸化物高温超伝導体で観測された電子ラマンスペクトルは、等方的 s 波で期待されるスペクトルとは明らかに異なる。しかし以前報告したように、ピーク位置は奇妙なホール濃度依存性・温度依存性を示し^[3]、電子ラマン散乱が他の相互作用（クーロン相互作用、準粒子間の相互作用、不純物散乱等）の影響を受けている可能性がある。この場合、スペクトル形状からは異方的 s 波の可能性も否定できない。そのため、他の相互作用の影響が比較的小さい低エネルギー領域の電子ラ

マン応答に注目した。高温超伝導体 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$ 単結晶 (超伝導転移温度 84 K) で観測された、低エネルギー電子ラマン散乱強度の温度変化を図 2 に示す。超伝導相での散乱強度の減少は、著しい偏光依存性を示す。これらの温度変化は、 d 波超伝導で予想される温度変化 (実線) とよく一致する。なお挿入図は d 波超伝導の場合の超伝導ギャップ Δ の角度依存性である。一方図 3 に示すように、異方的 s 波 (角度依存性を図 3 の挿入図に示す) では、観測された温度依存性・偏光依存性を再現する事はできない。

4. まとめと今後の課題

電子ラマン散乱の偏光依存性は、 d 波超伝導状態とよく一致することがわかった。本稿では紙面の都合上割愛したが、 $T=0$ K での残留電子ラマン強度の存在も d 波超伝導状態を支持している。従って、高温超伝導は反強磁性揺らぎにより生じていると考えるのが妥当であろう。

最後に高温超伝導体の電子ラマン分光には、重要で未解決の問題が多数存在することを指摘しておく。本研究で用いた理論解析はフェルミ流体論を基礎としたものであるが、常伝導相の電子ラマンスペクトルは

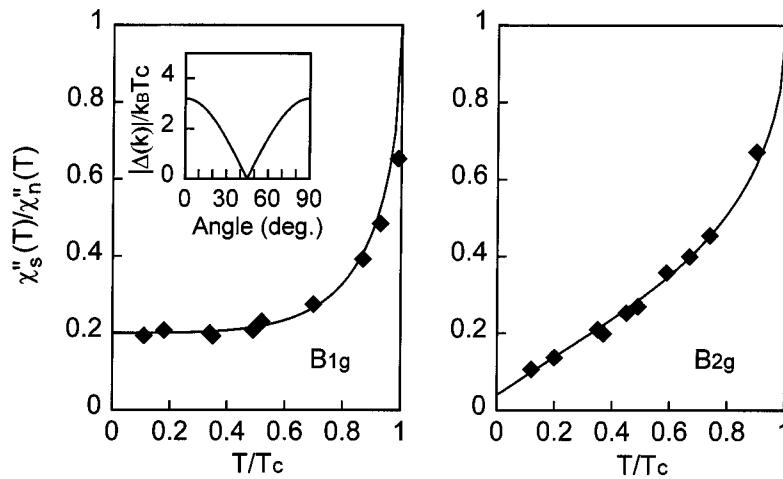


図 2 低エネルギー電子ラマン強度の温度依存性。実線は d 波超伝導で予想される温度変化。挿入図は d 波超伝導の場合の超伝導ギャップ Δ の角度依存性。

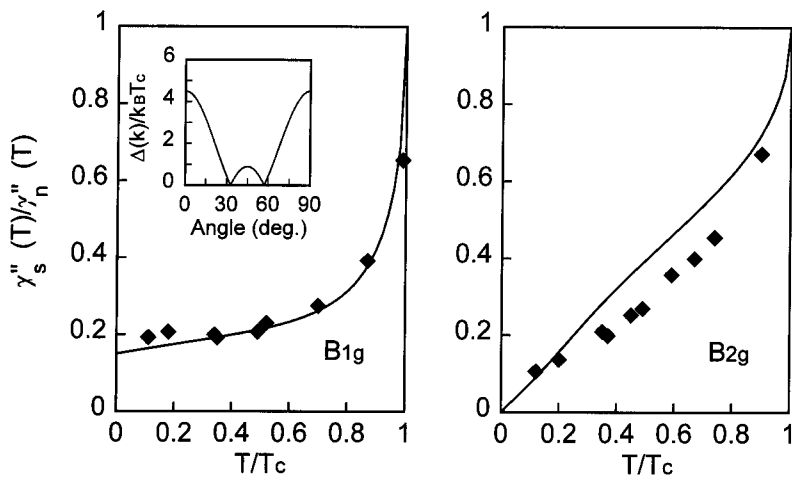


図 3 低エネルギー電子ラマン強度の温度依存性。実線は異方的 s 波超伝導で予想される温度変化。挿入図は異方的 s 波超伝導の場合の超伝導ギャップ Δ の角度依存性。

フェルミ流体論で説明できず、これは銅酸化物の異常金属相の物性と密接に関係した特異な現象である。高温超伝導も異常金属相を背景としているので、当然

ギャップ励起電子ラマン散乱もこの異常金属相との関連で詳しい吟味が必要であろう。

【参考文献】

- [1] 山中明生, 南不二雄, 井上久遠, 固体物理 25 (1990) 111.
[2] 山中明生, 新超電導材料研究会刊「NSMF NEWS」No.

56 (1996) 10.

- [3] 山中明生, 電子科学研究 1 (1993) 67.