

氏 名	李 貞 姫
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学位記番号	理 博 第 2280 号
学位授与の日付	平 成 13 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	理 学 研 究 科 物 理 学 ・ 宇 宙 物 理 学 専 攻
学位論文題目	Study of Superconductivity Based on the Nozières - Schmitt - Rink Formalism (ノジエール・シュミットリンクの表式に基づく超伝導の研究)
論文調査委員	(主 査) 教 授 山 田 耕 作 教 授 石 黒 武 彦 教 授 大 見 哲 巨

### 論 文 内 容 の 要 旨

申請者李貞姫は強結合超伝導の理論として基本的な理論である Nozières-Schmitt-Rink (NSR) の理論を準 2 次元の場合に重点を置いて研究している。

2 粒子の多重散乱を取り入れた T-Matrix (T-行列) 近似を用いた NSR 理論は低密度の系に適した理論であると考えられているが、申請者は電子密度を変えたときの熱力学量を NSR 理論の表式に基づいて研究した。

低密度で電子間引力が強い極限では電子対がボーズ粒子となり、それが温度の低下とともにボーズ凝縮に向かう。しかし、準 2 次元系ではボーズ凝縮に向かうボーズ粒子の波動関数の位相の揺らぎが大きく現れ、3 次元性で揺らぎが切断され有限の温度でボーズ凝縮に転移する。このボーズ凝縮は NSR 理論では負の値から、化学ポテンシャルが増大を続け、ゼロに近づく結果に対応している。

一般に NSR 理論では全電子数を独立なフェルミ粒子と電子対であるボーズ粒子の和として表す。低温にしていくとボーズ粒子の数が増え、フェルミ粒子が減少し、電子系の化学ポテンシャルが減少する。その結果 Thouless 条件を満たして超伝導になる温度は化学ポテンシャルが下がるために低くなる。こうして、超伝導揺らぎが超伝導転移温度  $T_c$  を下げることを示している。

申請者はこの低密度の強結合領域でも温度  $T$  の 1 次の比熱係数は  $T_c$  より高い温度から下がることを発見した。これは比熱係数に限れば少なくとも低ドーピング系で観測される比熱係数の振舞いである。この低密度の場合には電子対の波動関数の位相揺らぎが効いていると思われる。

以上を解析的な表式から導くとともに、電子密度の高い場合にも NSR 理論を適用するため、申請者は電子密度を一定にして化学ポテンシャルの温度変化を自己無撞着に決定した。この結果を基に Thouless 条件から  $T_c$  を決定した。

こうして、申請者は NSR 理論を用いて準 2 次元系における転移温度を、電子密度  $N$  及び、引力の強さ  $V$  の関数として求めた。この結果により、低密度では化学ポテンシャルのシフトが大きく、転移温度が平均場近似の与える  $T_c$  から大きく減少することが示された。超伝導揺らぎが  $T_c$  を下げたことになる。しかし、電子密度が高い時は  $T_c$  の超伝導揺らぎによる下がりには小さくなる。これは電子密度が高いと化学ポテンシャルのシフトが小さいためである。それゆえ、NSR 理論は高密度の電子系である銅酸化物の転移温度の下がりをも説明できないことが示された。この原因は NSR 理論には裸の Green 関数が使われ、擬ギャップによるフェルミ面での状態密度の下がりも考慮されていないためである。

さらに NSR 理論に基づいて、熱力学量が計算された。その結果、NSR 理論の  $T_c$  よりも高温で比熱係数が減少する擬ギャップと同様の振舞いが見出された。これは NSR 理論では擬ギャップによる状態密度の減少は考慮されていないものの、T-Matrix 近似による超伝導揺らぎは考慮されているためである。

つまり、電子密度が高い時には NSR 理論は正しい  $T_c$  を与えないが、T-Matrix 近似を通じて超伝導揺らぎによる共鳴効果 (Resonance) を含んでおり、擬ギャップを比熱係数に現出しうることが明らかにされた。

さらに、一般の電子密度で正しいが、低温領域にのみ適用できる Luttinger の比熱係数の計算方法を引力の場合に拡張して比熱係数が計算され、 $T_c$ の上から減少する擬ギャップ現象が導かれた。

このように申請者は NSR 理論を忠実に研究し、具体的な計算によって、準 2 次元系では電子比熱係数が擬ギャップ的振舞いを示すことを発見した。この振舞いは電子密度の増加とともにボーズ凝縮的な擬ギャップから、電子密度の高い領域の Resonance による擬ギャップに連続的に移行することを示している。

### 論文審査の結果の要旨

申請論文は現在注目されている高温超伝導の擬ギャップに関するものである。申請論文は古くから強結合理論として研究されてきた Nozières-Schmitt-Rink (NSR) 理論を準 2 次元系に焦点をあてて詳しく調べたものである。その結果、NSR 理論はどの電子密度においても引力が強ければ擬ギャップを導出できる理論であることが示された。この時、擬ギャップは超伝導転移に対応して、ボーズ凝縮的な擬ギャップ的振舞いから、準粒子がクーパー対の状態に共鳴してその寿命が極端に短くなることで生じる擬ギャップへと連続的に移行することも示された。

このことは擬ギャップの機構として位相揺らぎのみを強調する Emery-Kivelson などの理論があるが、これらの理論は低密度の系に対応し、高密度の現実の高温超伝導体では当てはまらないことを具体的に示した事になる。

NSR 理論は臨界点近くの臨界揺らぎを正しく記述せず単に  $T_c$  を求める理論であるため、自己無撞着な理論に拡張する必要がある。このような NSR 理論の欠点も明らかにされた。

かつて、擬ギャップとの関連で NSR 理論を用いて準 2 次元の場合の熱力学量の計算が為されたことがなかった。化学ポテンシャルの自己無撞着な計算による決定もなされてこなかった。このような状況下で申請論文は NSR 理論の性質を定量的にかつ、全面的に検討したものである。それを通じて、擬ギャップ現象を広い立ち場から明らかにしたものである。

以上のような申請論文は学位論文としての価値を有するものと判断した。さらに、学位論文に関連した事項について質問し、十分な学識を有することを確認した。この結果、学位審査は合格と認めた。