



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	A mechanism of high-temperature superconductivity from orbital nematic fluctuations and its possibility in iron pnictides and chalcogenides [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	我妻, 友明
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(理学)
Dissertation Number	甲第13124号
Issue Date	2018-03-22
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/69974
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Tomoaki_Agatsuma_review.pdf, 審査の要旨



学 位 論 文 審 査 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士(理 学) 氏 名 我 妻 友 明

審査担当者	主査	客員教授	山 瀬 博 之
	副査	教 授	小 田 研
	副査	准教授	北 孝 文
	副査	教 授	堀 田 貴 嗣

(首都大学東京理工学研究科物理学専攻)

学 位 論 文 題 名

A mechanism of high-temperature superconductivity from orbital nematic fluctuations
and its possibility in iron pnictides and chalcogenides

(軌道ネマチック揺らぎによる高温超伝導機構と
鉄ニクタイト・カルコゲナイドにおけるその可能性)

博士学位論文審査等の結果について (報告)

2006年に発見された鉄系超伝導体は、銅酸化物高温超伝導体に次ぐ高い超伝導転移温度を示す物質群であり、その超伝導機構の解明に向けて研究が盛んに行われている。スピン揺らぎによる超伝導機構が多く研究者によって議論されているが、鉄系超伝導体の典型的な相図において、系の方向対称性のみが破れる電子ネマチック状態という相が反強磁性相よりも超伝導相により近くに存在している。そこで著者は、軌道の自由度に起因する電子ネマチック、つまり軌道ネマチックが鉄系超伝導体の高温超伝導機構にとって重要である可能性に着目した。特に、超伝導ギャップ構造は角度分解光電子分光で直接的に観測されるので、軌道ネマチック揺らぎによる超伝導ギャップの構造が明らかになれば、鉄系超伝導体において軌道ネマチック揺らぎによる超伝導の可能性をさらに踏み込んで議論することが出来る。そこで、著者は本学位論文において以下の3つの課題に取り組んだ。

第1の課題は、超伝導ギャップ関数のフェルミ面上での波数依存性と電子の自己エネルギー効果の両方を考慮して、軌道ネマチック揺らぎによる超伝導をEliashberg理論の枠組みで明らかにすることである。ノーマル状態から超伝導転移する場合、超伝導のギャップ関数は各フェルミ面ポケット上でほぼ等方的であることが分かった。軌道ネマチック状態では、軌道ネマチック揺らぎは抑制されるが、その揺らぎによっても超伝導転移が可能である。この場合、電子ポケット上では超伝導ギャップはほぼ等方的である一方、ホールポケット上では大きな異方性が生じることが分かった。超伝導ギャップの異方性は、フェルミ面ポケットを占める軌道成分で理解出来、軌道ネマチック秩序によってエネルギーの下がった電子軌道が主要となる領域でギャップが大きくなることが分かった。超伝導ギャップの大きな異方性にも拘らず、超伝導転移温度は等方的な超伝導ギャップを仮定した場合とほぼ同じであり、実験的に観測されている転移温度を再現出来ることが分かった。これらの成果は、Agatsuma and Yamase, Phys. Rev. B **94**, 214505 (2016)に出版された。

著者の第2の課題は、実際の鉄系超伝導体ではスピン揺らぎも存在していることが期待されることに着目して、第1の課題と同じ理論の枠組みでスピン揺らぎによる超伝導機構を考察することである。既に知られているように、離れたフェルミ面ポケットのネスティングによって反強磁性揺らぎが発達し、その揺らぎによって $s_{\pm}$ 波の対称性を持つ超伝導が誘起される傾向を得た。しかし、電子の自己エネルギー効果、およびネスティングベクトルから大きくずれた小さな波数成分を持つ弱いスピン揺らぎによって、超伝導不安定性は劇的に抑制され、反強磁性相の近傍でも超伝導が生じない、という知見を新しく得た。スピン揺らぎによって超伝導は生じないものの、ギャップ関数の波数依存性を評価すると、ノーマル状態ではホールポケット上でほぼ等方的であり、電子ポケット上ではそれよりも大きな変調が生じる一方、軌道ネマチック状態ではホールポケットと電子ポケットの両方で大きな異方性が生じることも示した。

第3の課題として、著者は実際の物質により近い状況を想定して、軌道ネマチック揺らぎとスピン揺らぎを同時に考慮した場合の超伝導不安定性を調べた。その結果、両者は競合的に働き、軌道ネマチック揺らぎによる超伝導不安定性がスピン揺らぎによって抑制されることを明らかにした。超伝導不安定性は、軌道ネマチック揺らぎによるもので、ギャップの対称性やその波数依存性に対するスピン揺らぎの効果は弱いことも示した。ただし、反強磁性のごく近傍では、スピン揺らぎの効果によって、ギャップの対称性が s_{++} 波から $s_{\pm}$ 波に変化する場合も見出した。

本学位論文は以上の3課題からなり、第1と第2の課題が、第3の課題に滑らかにつながる構成である。各課題で得られた理論的知見は、著者が初めて明らかにしたものであり、その理論的価値は高い。また、本学位論文によって、同じ理論の枠組みで鉄系超伝導体の超伝導機構を軌道ネマチックとスピン揺らぎの2つの側面から論じることが可能になった。一般に、超伝導ギャップの波数依存性は超伝導機構の同定に重要であると信じられているが、現在得られている角度分解光電子分光の実験結果は、軌道ネマチック揺らぎ、またはスピン揺らぎのいずれの超伝導機構でもある程度よく理解出来ることが明らかにされた。一方、超伝導転移温度に対しては、軌道ネマチック揺らぎによってのみ実験結果に相応しい値が得られることを示した。この意味において、軌道ネマチック揺らぎがスピン揺らぎよりも重要であることを提案した。このような知見は、全く新しいものであり、鉄系超伝導体の高温超伝導機構の解明に大きく貢献することが期待される。

以上の研究成果を踏まえ、著者は、北海道大学博士（理学）の学位を授与される資格があるものと認める。