



Title	Study of Electronic States of 1111 Iron Based Superconductors: via Angle-Resolved Photoemission Spectroscopy and Raman Scattering Spectroscopy
Author(s)	Tin, Zi How
Citation	大阪大学, 2020, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.18910/77587">https://doi.org/10.18910/77587</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

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

The University of Osaka

## Abstract of Thesis

Name (Tin Zi How)

## Title

Study of Electronic States of 1111 Iron Based Superconductors: via Angle-Resolved Photoemission Spectroscopy and Raman Scattering Spectroscopy  
(角度分解光電子分光およびラマン散乱分光による1111系鉄系超伝導体の電子状態の研究)

## Abstract of Thesis

Local structure parameter, pnictogen height is predicted to play as a switch between high  $T_c$  nodeless pairing and low  $T_c$  nodal pairing in Fe-based superconductors. In spin fluctuation model, the  $\gamma$  Fermi surface is important for the nodeless pairing and acts as a switch for different pairing mechanisms, but there is no report of it experimentally thus far. The pnictogen height is controllable by phosphorus doping. The phase diagram of  $LnFeAs_{1-x}P_xO_{0.9}F_{0.1}$  reveals a non-monotonic  $T_c$  variation, which originates from two different  $T_c$  raising pairing mechanisms. With an interest in the pairing mechanisms, the electronic band structure and gap symmetry were studied.

The missing  $\gamma$  band with  $d_{xy}$  orbital character was successfully observed in  $NdFeAs_{1-x}P_xO_{0.9}F_{0.1}$  using angle-resolved photoemission spectroscopy. However, the  $\gamma$  band are far away from the Fermi level. Besides, a small band dispersion with  $d_{xy}$  orbital character was observed just below Fermi level at the zone center. Superconducting condensation was observed on this  $d_{xy}$  incipient band, indicating its importance for SC1 region.

Raman scattering spectroscopy revealed the enhancement of electron-phonon interaction with increasing  $x$  in  $B_{1g}$  spectrum. The full-gapped symmetry was observed on the hole Fermi surfaces for  $x = 0$ .

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏名 (Tin Zi How)		氏名
論文審査担当者	主査 教授	工藤 一貴
	副査 教授	黒木 和彦
	副査 教授	松野 丈夫
	副査 准教授	宮坂 茂樹
	副査 招聘教員	田島 節子
	副査 准教授	田中 清尚(自然科学研究機構・分子科学研究所)

## 論文審査の結果の要旨

鉄化合物超伝導体は発見から13年たっているが、超伝導発現機構については未だ統一的な見解が得られていない。それを解明するための一つのアプローチは、超伝導転移温度( $T_c$ )を決定している因子を明らかにすることである。実験的には、鉄原子層とニクトゲン層の距離  $h_{pn}$  と  $T_c$  がよく相関することが知られている。理論計算では、 $h_{pn}$  によって鉄の  $3d_{xy}$  軌道の寄与が変わることが示されているが、これまで実験で  $d_{xy}$  軌道特性を持つフェルミ面は観測されたことがない。本研究では、組成により  $h_{pn}$  や  $T_c$  を大きく変えることができる  $\text{NdFeAs}_{1-x}\text{P}_x(\text{O},\text{F})$  に着目した。高圧合成法により単結晶を育成し、角度分解光電子分光とラマン散乱分光によって、電子構造の組成変化を詳細に調べた。角度分解光電子分光は、波数( $k$ )空間分解能を持ち、更に入射光の偏光を変えることにより、各バンドの軌道特性を決定できる。ラマン散乱分光も入射・散乱偏光を変えることにより、 $k$  空間のゾーンセンター、ゾーン境界のフェルミ面からの電荷応答を、選択的に抽出することができる。これらの  $k$  空間分解能を持つ分光学的な手法により、鉄系超伝導体の詳細な電子構造の解明が可能となった。

本論文の特筆すべき成果は、特定の入射エネルギーを用いた光電子分光において、理論予想通り  $k$  空間のゾーンセンターに  $d_{xy}$  バンドを観測することができたことである。しかも、P 置換によってバンドが沈み込む様子も観測され、定性的には理論予言を裏付けた。ただし、その位置はフェルミエネルギーより 50meV 以上も下であり、フェルミ面を形成するに至っておらず、この点では理論と大きく異なる。

上記のバンドとは別にフェルミエネルギー近くに  $d_{xy}$  成分を持った状態が存在し、しかもそれがフェルミエネルギーを横切らないにも関わらず、 $T_c$  以下で大きな超伝導凝縮成分を示すことを実験的に明らかにした。フェルミ面が大きく変わるリフシツト転移前の “ $T_c$  の高い組成( $x = 0, 0.2$ )” でこれらが観測されたことは、 $d_{xy}$  バンドが本系の高い超伝導転移温度に重要な役割を果たしていることを強く示唆する。理論で存在が予言された  $d_{xy}$  軌道のフェルミ面は、フェルミ面直下にある incipient state であり、それが超伝導に寄与していることを確認できたことは、大きな成果である。

一方、 $T_c$  の低い組成( $x > 0.4$ )では、 $d_{yz/xz}$  軌道由来のバンドがフェルミ面を形成し、それがP置換と共に成長していく様子が観測された。このフェルミ面の形成に伴いホール電子フェルミ面間のネスティング条件が良くなるため、本結果はフェルミ面が関与したネスティングによるスピンドルラギングの対形成機構を裏付けるものと言える。

ラマン散乱分光からは、異なる偏光配置によりゾーンセンターの  $\Gamma(\text{Z})$  点付近のホールフェルミ面にフルギャップ的な超伝導ギャップ応答、ゾーン境界の  $\text{M}$  点付近の電子フェルミ面にノードを持つ超伝導ギャップによるラマン散乱応答が明確に観測され、 $T_c$  低下と共に両ギャップが減少する様子も確認できた。また、ネマティックラギングの観測が可能な偏光配置を用いることで、フェルミ面のトポロジーが変わる境界の P 組成( $x = 0.2$ )付近において、そのラギングが最も強くなる様子を観測できた。

本研究で取り上げた  $\text{NdFeAs}_{1-x}\text{P}_x(\text{O},\text{F})$  の類似物質系は、鉄系超伝導体の中でも特に高い  $T_c$  を示すが、単結晶育成が極めて困難であり、P 置換効果の単結晶を用いての精密な分光学的な研究はほとんど例がない。このような研究の独創性、上述のような鉄系超伝導研究分野における重要な知見を得たことなどの観点から、本論文は博士（理学）の学位論文として十分価値のあるものと認める。