

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	NbO2層における二次元超伝導に関する研究
Title(English)	Study on Two-Dimensional Superconductivity in NbO2 Layers
著者(和文)	相馬拓人
Author(English)	Takuto Soma
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:乙第4199号, 授与年月日:2024年7月31日, 学位の種類:論文博士, 審査員:大友 明,平山 雅章,吉松 公平,平松 秀典,平原 徹,打田 正輝
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:乙第4199号, Conferred date:2024/7/31, Degree Type:Thesis doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

(論文博士)
(Dissertation Doctorate)

論 文 要 旨 (和文2000字程度)

Dissertation Summary (approx. 2000 characters in Japanese)

報告番号 For administrative use only	乙 第	号	氏 名 Name	相馬 拓人
---	-----	---	-------------	-------

(要 旨)

(Summary)

「NbO₂層における二次元超伝導の研究」と題する本論文は、6章から構成されている。本論文では、LiNbO₂が持つ二次元的な2H-NbO₂層が示す超伝導と関連する電子物性に関してまとめられている。

第1章「序論」では、これまでの物性科学の歴史的経緯を振り返りながら二次元超伝導層を取り扱う意義や現在の課題点について述べられている。特に、NbO₂層を持つLiNbO₂という物質が持つ固体化学的・物性物理学的な特異性を指摘し、試料合成技術や物性が未開拓であることを述べ本研究の目的と意義を明確にしている。また、酸化物エレクトロニクス研究領域の歴史的経緯を概説し、本研究の課題点の解決法となりうる技術を提案している。

第2章「実験方法」では、第1章で述べられた解決法に基づき、本論文で使用される実験技術や手法が背景知識と共にまとめられている。

第3章「Li_{1-x}NbO₂エピタキシャル薄膜の合成とp型透明超伝導の発見」では、超伝導Li_{1-x}NbO₂エピタキシャル薄膜の合成法について述べられている。通常的直接合成法では薄膜成長が困難であることが明らかにされ、その問題を解決する手法として独自の”3段階合成法”が提案されている。その結果、超伝導エピタキシャル薄膜の合成に初めて成功し、種々の基礎物性について明らかにされている。特に、超伝導を示すのにもかかわらず高い透明性を示すことが明らかにされ、そのp型透明超伝導体としての機能性が示されている。また、その高い透明性の起源は本物質の特殊な配位構造と強い電子相関に起因するメカニズムが提案されており、新しい物質開拓における指針も考察されている。

第4章「2H型NbO₂層における二次元超伝導と強相関電子」では、実現されたエピタキシャル薄膜を駆使した物性測定によりLi_{1-x}NbO₂の詳細な電子状態が明らかにされている。本物質の超伝導は高い二次元性を持つことが多面的に調査されており、二次元NbO₂層が本質であることが示されている。また、実験とシミュレーションから本物質の電子構造が明らかにされており、超伝導はNb 4d₂シングルバンドにおいて起こることが示されている。本物質は酸化物であるにもかかわらず例外的に三角柱型の配位構造を形成している結果として、強相関に最も有利な条件が実現していることが考察されている。

第5章「二次元三角格子NbO₂層における磁気量子臨界現象と超伝導ドーム」では、実現されたエピタキシャル薄膜を電極として用いた電気化学デバイスを作製することにより、Li_{1-x}NbO₂の電子相の全貌を解明している。Liイオン充放電反応と*in-situ*物性測定を複合したデバイスを実現することで、様々なLi組成を持ったLi_{1-x}NbO₂の真の物性を調査することに成功している。その結果、本物質ではLiイオ

ンの脱離がドーピングに対応し、そのドーピング量に伴ってバンド絶縁体からFermi液体金属を経て、非Fermi液体挙動を伴う超伝導体へと変化することが明らかにされている。その変化に伴って磁性相互作用も系統的に変調されることから、超伝導化のメカニズムに磁気的な相互作用が関係している可能性が提案されている。また、その電子相図はこれまでに知られている強相関超伝導体のアナロジーとして理解できることから、量子臨界現象としての超伝導ドーム形成について議論されている。一方で、三角格子が持つスピンプラストラーションの寄与も議論され、超伝導化と転移温度に関する新たな知見を与えている。

第6章「総括と今後の展開」では、本論文で得られた知見についてまとめ、本研究が果たした意義について述べられている。また、本研究に続く展開を提案するとともに、そこから導かれる今後の物性科学の展望についても述べられている。

以上のように、本論文はNbO₂層における二次元超伝導の全貌を解明した研究である。そこに含まれる物性科学的な新規性が明らかにされており、物性科学における新たな物質観が提供されている。

備考：論文要旨は、和文2000字と英文300語を1部ずつ提出するか、もしくは英文800語を1部提出してください。

Note: Dissertation summaries must be written in either of the following formats: (A) both in Japanese (approx. 2000 characters) and in English (approx. 300 words), or (B) in English (approx. 800 words).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ (T2R2) にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Important: Dissertation summaries will be published online on the Tokyo Tech Research Repository (T2R2). Do not include information treated as confidential under certain circumstances.

(論文博士)
(Dissertation Doctorate)

論 文 要 旨 (英 文) (300語程度)

Dissertation Summary (approx. 300 words in English)

報告番号 For administrative use only	乙 第 号	氏 名 Name	相馬 拓人
<p>(要 旨) (Summary)</p> <p>This dissertation, entitled "Study on Two-Dimensional Superconductivity in NbO₂ Layers", consists of six chapters. The dissertation summarizes the superconductivity and related electronic properties exhibited by the two-dimensional 2H-NbO₂ layers of LiNbO₂.</p> <p>In Chapter 1 "Introduction", the significance and current issues in dealing with two-dimensional NbO₂ layers are discussed while reviewing the historical background of condensed matter science.</p> <p>In Chapter 2 "Experimental Methods", the experimental techniques and methods used in this dissertation are summarized along with background knowledge.</p> <p>In Chapter 3 "Synthesis of Li_{1-x}NbO₂ Epitaxial Thin Films and Discovery of <i>p</i>-type Transparent Superconductivity", synthesizing superconducting epitaxial thin films is realized by developing an original "three-step synthesis method", and various fundamental properties are clarified. In particular, it is shown to exhibit high transparency despite its superconductivity, indicating its functionality as a <i>p</i>-type transparent superconductor.</p> <p>In Chapter 4 "Two-Dimensional Superconductivity and Strongly Correlated Electrons in 2H-type NbO₂ layers", the detailed electronic states of Li_{1-x}NbO₂ are revealed by physical property measurements using the realized epitaxial thin films. The two-dimensionality of superconductivity and the single-band nature of the electronic structure are proven, suggesting the realization of the most favorable situation for strong correlations.</p> <p>In Chapter 5 "Superconducting Dome and Magnetic Quantum Critical Phenomena in Two-Dimensional Triangular Lattice NbO₂ Layers", by fabricating electrochemical devices using the realized epitaxial thin films as electrodes, the electronic phase diagram of Li_{1-x}NbO₂ is revealed. The possibility of magnetically mediated superconductivity and superconducting domes as quantum critical phenomena is proposed.</p> <p>In Chapter 6 "Summary and Future Development", the findings of this dissertation are summarized and future prospects for condensed matter science are also discussed.</p> <p>In summary, this dissertation elucidates two-dimensional superconductivity in NbO₂ layers and provides new insights of materials in the condensed matter science.</p>			

備考：論文要旨は、和文2000字と英文300語を1部ずつ提出するか、もしくは英文800語を1部提出してください。

Note: Dissertation summaries must be written in either of the following formats: (A) both in Japanese (approx. 2000 characters) and in English (approx. 300 words), or (B) in English (approx. 800 words).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ (T2R2) にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Important: Dissertation summaries will be published online on the Tokyo Tech Research Repository (T2R2). Do not include information treated as confidential under certain circumstances.