

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	走査トンネル顕微鏡/分光法を用いた表面超構造を制御したSrTiO ₃ 上の単層FeSeの超伝導特性の研究
Title(English)	Superconducting properties of monolayer FeSe on various surface superstructures of SrTiO ₃ studied by scanning tunneling microscopy/spectroscopy
著者(和文)	田中友晃
Author(English)	Tomoaki Tanaka
出典(和文)	学位:博士(理学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11877号, 授与年月日:2021年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:平原 徹,大熊 哲,平山 博之,齋藤 晋,打田 正輝
Citation(English)	Degree:Doctor (Science), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11877号, Conferred date:2021/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第		号	学位申請者氏名		田中 友晃	
		氏名		職名		氏名	職名
論文審査 審査員	主査	平原 徹		准教授	審査員	打田 正輝	准教授
	審査員	大熊 哲		教授			
		平山 博之		教授			
		斎藤 晋		教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Superconducting properties of monolayer FeSe on various surface superstructures of SrTiO₃ studied by scanning tunneling microscopy/spectroscopy」と題され、7章106ページで構成されている。

第1章「Introduction」では超伝導研究の歴史が述べられ、とりわけ高い超伝導転移温度(T_c)を示す物質がどのように発見されてきたかについて詳細に記述されている。そして本研究の対象である鉄系超伝導体で最も高いT_cを示すSrTiO₃上の単層FeSe研究に関して、バルクFeSe(8K)よりもT_cが高いことは間違いないが、その値が異なる報告の間で40-109Kでばらついており、その起源が明らかになっていないことを指摘している。そしてFeSeとSrTiO₃(STO)の界面での電子ドープや光学フォノンなどが高温超伝導の発現には重要であるとされるが、ミクロスコピックな統一見解が得られていないことが説明されている。その上でこれまでその界面に存在するSTOの表面に注目して体系的な研究がなされていないことが記述され、これを踏まえて本論文の目的が明示され、最後に論文の構成が概観されている。

第2章「Fundamentals」では本論文の前提知識についてのレビューが書かれている。BCS理論などの超伝導の基礎事項の解説がなされた後、Fe系超伝導体一般に関して詳細な記述がある。キャリア密度に最適値があり、そこでT_cが極大を示す超伝導ドーム構造を有していること、さらにそれが相図上で反強磁性やネマティックなどの他の基底状態と近いところにあり、BCS理論では説明されない非従来型超伝導体であることが解説されている。そして本論文で取り扱っているSTO上の単層FeSe研究に関する先行研究に関して、まず基板のSTOの表面超構造に関して説明されている。とりわけTiO₆の酸素が一つ抜けたTiO₅の量や終端面の違いによって異なる周期性を示す様々な表面超構造の報告例があることが詳細に述べられている。そして、このSTO基板上に成長させた単層FeSeに関して、実験手法や実験グループの間で報告されているT_cの値が大きくばらついてることが概観されている。さらにこの系のFeSe表面に異種原子を蒸着して電子ドープ量を変調させた場合の超伝導ギャップ値の変化や単層FeSeとSTOの間に存在する余剰なSe原子が超伝導発現に与える影響などが議論されている。

第3章「Research Methods」では本研究で行った実験である、分子線エピタキシー法による薄膜作製、反射高速電子回折および走査トンネル顕微鏡/(分光)STM/STS測定に関して、その原理や実際の実験装置に関する記述がなされている。

第4章「Sample Preparation」では本論文で測定した試料の作製方法が記述されている。STO表面を超高真空下で加熱して清浄化することでSTO-2×1および√2×√2表面が、10⁻⁵torrの酸素雰囲気下ではc(6×2)および√13×√13表面の計4つの異なるSTO表面超構造が得られたことが報告されている。そして、これらの上に高品質単層FeSe薄膜を作製した際の基板の温度やFeとSeの流速比などの条件が述べられている。

第5章「Atomic structure of monolayer FeSe/STO」では、作製した単層FeSe/STOのSTM測定の結果が述べられている。広域像では作製された薄膜が高品質であることが分かり、詳しい解析を行うと、表面上の凹凸はSTOの1原子ステップおよび単層FeSeに対応するものがほとんどであるが、まれに終端面の違いに由来するであろうものが観察されたと報告されている。高分解能測定における原子像観察では、単層FeSeを介して基板表面の周期性あるいはそれに準ずるものが観測されたことが記されている。これは同じ単層FeSeでありながら基板表面の影響を強く受けていることの証拠である。最後にSTOとFeSeの界面に存在する余剰のSe原子の基板加熱による抜け方が、表面超構造に大きく依存していることが記述されている。

第6章「Electronic structure of monolayer FeSe/STO」では作製した単層FeSe/STOのSTS測定の結果が述べられている。まず、単層FeSe/STOの超伝導の発現の有無が界面に存在するSe原子や表面

での Se 欠陥に大きく依存することが述べられている。さらに第 5 章で原子像を得た領域で電子状態を高分解能で測定すると、広域スペクトルでは表面超構造に依存して電子ドーピング量に対応する占有状態のピーク位置が変化すること、それに対応して、統計的に決定した超伝導ギャップの値が変化することが記されている。そしてそれをもとに電子ドーピング量と超伝導ギャップの大きさの相図を作成すると、単層 FeSe/STO の系で超伝導ドームの関係があることが記述されている。電子ドーピング量の大小はこれまで提唱されている STO 表面の構造モデルにおける TiO_2 の量に概ね対応すること、さらに先行研究のデータと比較することで STO 表面上の一つの酸素欠陥から FeSe への電子ドーピングの割合などが考察されている。

第 7 章「Conclusion」では、これまでの各章で得られた主要な研究成果についてまとめるとともに、角度分解光電子分光によるバンド構造の決定や電子エネルギー損失分光法によるフォノン分散の決定など今後の研究の方向性について述べられている。さらに今回の結果が困難とされてきた STO 表面の構造モデルの同定に果たす役割に言及するとともに、相図上に現れるであろう他の基底状態の同定への期待についても触れている。

以上のように、本論文は、STO 基板上の単層 FeSe の高温超伝導に関して、STO 基板表面の超構造に着目し体系的な研究を行うことで、STO 基板表面の制御の重要性を世界で初めて示し、超伝導ドーム構造を実証したものである。これはこの系の高温超伝導の起源解明につながるだけでなく、その原理を類似の原子層高温超伝導の創製にも適用できる可能性があり、その学術的価値は高く評価できる。従って、本論文は博士(理学)の学位論文として十分に価値があるものと認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ(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。