

平成 30 年 6 月 14 日現在

機関番号：32660

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05185

研究課題名(和文) 一軸応力下における走査トンネル分光

研究課題名(英文) scanning tunneling spectroscopy under uniaxial stress

研究代表者

坂田 英明(sakata, hideaki)

東京理科大学・理学部第一部物理学科・教授

研究者番号：30215636

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：走査トンネル顕微鏡(STM)は、物質の表面を原子分解能を持って測定できるが、超伝導や電荷密度波の分域構造のような秩序状態を制御することができる静水圧下での測定は不可能である。本研究では、圧電素子を用いて一軸性の応力下での遷移金属ダイカルコゲナイド(TMDC)のような2次元物質のSTMによる観察が可能な装置の試作および観察を試みた。試作した装置を用いて、室温から液体ヘリウム温度の間で、応力印加の下で、原子分解能を有する観察を行うことができたが、変位が小さいため、TMDCの分域構造を変化させるまでには至らなかった。しかしながらこの研究でTMDCの分域構造に関する多くの知見を得ることができた。

研究成果の概要(英文)：Application of pressure is one of promising techniques to control the physical properties of materials, such as superconductivity or domain structures of charge density wave states. Although scanning tunneling microscopy (STM) is a powerful technique which realizes the electronic states measurements with atomic resolution, the measurements under pressure is impossible. In this study, we developed STM which enables to measure two dimensional materials under uniaxial stress by using a piezoelectric actuator.

By gluing the two dimensional materials such as transition metal dichalcogenides (TMDC) on a multilayer piezoelectric element, we succeeded to observe the surface structure with atomic resolution under the uniaxial stress from room temperature down to 4.2 K. Although the uniaxial stress applied to the samples was not enough to change the domain structures in TMDC, this study extended the understanding of domain structures in TMDC.

研究分野：物性物理学

キーワード：超伝導 走査トンネル顕微鏡 電荷密度波

## 1. 研究開始当初の背景

物質中または物質表面において、競合する相互作用により超伝導や磁性のような基底状態が近接して存在する系が数多く存在する。このような系では、圧力のような外的な効果によりその基底状態を制御させることができる。基底状態の電子状態については、走査トンネル顕微鏡のよる観察が直接的な情報を与えてくれるが、圧力下での走査トンネル顕微鏡観察は皆無である。

## 2. 研究の目的

本研究では、走査トンネル顕微鏡で観察中にその場で、圧電素子を用いて2次元的な試料の面内に一軸応力を印加する装置を作成し、基底状態が隣接していると考えられる試料の一軸応力印加による状態変化を微視的に直接観察することを目的とする。しかし、圧電素子による応力は小さいため、基底状態自体より、固体中の界面等の生成についても調べ、その変化を調べる。

## 3. 研究の方法

- ・すでに所有している極低温走査トンネル顕微鏡の試料ホルダーにおいて、試料に積層の圧電素子を用いることにより応力を印加できるように改造する。
- ・基底状態の境界に近い試料を、原子置換により準備、また準安定な界面を有する試料を発見し、これらに一軸応力を印加し、変化を調べる。
- ・試料としては  $\text{BiS}_2$  系超伝導体および CDW を持つ遷移金属ダイカルコゲナイドを用いる。特に遷移金属ダイカルコゲナイドにおいては、CDW の分域構造に注目して、これに一軸応力を印加し、STM/STS により電子状態のその場観察を行う。

## 4. 研究成果

本研究は、まず圧電素子を用いて試料に一軸応力を印加した状態で走査トンネル顕微鏡観察を行えるような装置の製作を行った。比較的大きな変位を確保できる積層型の圧電素子に試料を張り付けることにより、室温および液体ヘリウム温度の低温で応力印加の元で試料観察ができるようなセッティング方法を考案し、圧電素子に加わる高電圧と、トンネル顕微鏡の微小な電流が干渉しないような絶縁方法、配線法を開発した。問題点としては、試料より、試料を圧電素子に接着している接着剤が弱く、試料の低温における劈開が難しいということがあった。このため、表面が非常に反応性の高い  $\text{BiS}_2$  系の物質の測定は行うことができなかった。このため、比較的表面が安定な遷移金属ダイカルコゲナイドを主な測定対象とした。

積層型の圧電素子に、ストレインゲージを接着するのに用いられている EA2A と呼ばれる接着剤を用いて試料を接着することにより、室温から液体ヘリウム温度まで、電圧印加の元でも安定して原子分解能を有して、試料表面の測定を行うことができた。試料表面の欠陥等を利用して、実際に電圧印加により圧電素子の変位していることも確認できた。

次に、本研究に適した遷移金属ダイカルコゲナイドにおける CDW の分域壁について調べた。いくつかの遷移金属ダイカルコゲナイドにおいて、元素置換を行うと超伝導が出現することが報告されているが、超伝導が出現するときには分域構造が出現することを見出し、鉄置換した  $1\text{T-TaS}_2$  及び Se 置換した  $1\text{T-TaS}_{2-x}\text{Se}_x$ 、 $2\text{H-TaS}_{2-x}\text{Se}_x$  について、実際に分域構造を観察し、その電子状態を明らかにすることができた。

これらの試料を用いて、一軸応力のもとでの試料表面の観察を行った。Fe 置換を行った

遷移金属ダイカルコゲナイド 1T-TaS<sub>2</sub>において、一軸応力のもとで表面観察を行った。一軸応力印加のもとで、Fe 置換による分域構造を観察することができ、圧電素子の変位による分域壁の移動を観察することができた。この大きさより、実際の圧電素子の変位を見積もることができた。しかしながら、分域構造自体に大きな変化を見るには至らなかった。これは準安定あると考えていた分域が、Fe によるピン止めを受けており、比較的安定状態になっていたためと考えられる。また、Fe 置換を行っていない 1T-TaS<sub>2</sub>において室温近くで存在する分域構造の応力下での測定も行った。しかしながらこの分域構造に関しても大きな変化を得るには至らなかった。これらの結果は、使用した圧電素子による変位が大きく変化を起こすには不十分であるためと考えられる。以上の結果を踏まえて、現在、圧電素子、または別の機構を用いたより大きな変位を得られる装置を作成中である。

以上のように、本研究においては一軸応力による直接的な変化を見ることができなかつたが、研究の過程において、遷移金属ダイカルコゲナイドの分域構造について新しい知見を多く得ることができた。

## 5 . 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計2件)

Yuita Fujisawa, Tatsunari Shimabukuro, Hiroyuki Kojima, Kai Kobayashi, Shun Ohta, Tadashi Machida, Satoshi Demura, and Hideaki Sakata  
Appearance of a Domain Structure and Its Electronic states in Iron Doped 1T-TaS<sub>2</sub> Observed by Scanning Tunneling Microscopy and Spectroscopy

JOURNAL OF THE PHYSICAL SOCIETY OF JAPAN  
87 2017 113703

査読あり

10.7566/JPSJ.86.113703

Y Fujisawa, T Shimabukuro, H Kojima, K Kobayashi, S Demura and H Sakata

Effect of Fe-doping on CDW state in 1T-TaS<sub>2</sub> investigated by STM/STS

Journal of Physics: Conference Series

871 2017 12003

査読あり

10.1088/1742-6596/871/1/012003

[学会発表](計16件)

藤澤唯太、島袋竜成、出村郷志、小林慎太郎、植田浩明、道岡千城、吉村一良、坂田英明

逐次相転移を示す CrSe<sub>2</sub> の走査トンネル分光法による電子状態の測定

日本物理学会

2015年09月19日

関西大学

藤澤唯太、島袋竜成、出村郷志、小林慎太郎、植田浩明、道岡千城、吉村一良、坂田英明

逐次相転移を示す CrSe<sub>2</sub> の走査トンネル分光法による電子状態の測定 II

日本物理学会

2016年03月19日

東北学院大学

島袋竜成、藤澤唯太、出村郷志、坂田英明  
鉄置換した 1T-TaS<sub>2</sub> における STM/STS 測定

日本物理学会

2016年03月21日

東北学院大学

岩崎貴洋、岩下純、岸本幸樹、中田光彦、  
藤田貴大、出村郷志、坂田英明  
遷移金属ダイカルコゲナイド  $1T-TaS_2-xSex$   
の単結晶合成及び物性評価  
日本物理学会  
2016年03月21日  
東北学院大学

坂井優斗、小野寺崇文、大槻恵史、藤澤唯  
太、出村郷志、坂田英明  
 $La(0,F)BiS_2$  の単結晶育成及び物性評価  
日本物理学会  
2016年03月21日  
東北学院大学

小関紘矢、藤澤唯太、岩崎貴洋、吉村誠人、  
出村郷志、坂田英明  
一軸圧力下における STM 観察の試み  
日本物理学会  
2016年09月15日  
金沢大学

藤澤唯太、島袋竜成、小島寛之、小林開、出  
村郷志、坂田英明  
走査トンネル分光による  $Ta_{1-x}Fe_xS_2$  の分域  
構造の研究  
日本物理学会  
2016年09月13日  
金沢大学

藤澤唯太、島袋竜成、出村郷志、小林慎太郎、  
植田浩明、道岡千城、吉村一良、坂田英明  
 $CrSe_{0.8}S_{0.2}$  の STM/STS による表面構造と電  
子状態の研究  
日本物理学会  
2016年09月15日  
金沢大学

藤澤唯太、島袋竜成、小島寛之、小林開、出

村郷志、坂田英明  
走査トンネル分光による  $Ta_{0.99}Fe_{0.01}S_2$  の  
分域構造の研究 II  
日本物理学会  
2017年03月18日  
大阪大学

太田竣、藤澤唯太、出村郷志、坂田英明  
 $2H-TaS_2-xSex$  における CDW の STM による実空  
間観察  
日本物理学会  
2017年

小関紘矢、藤澤唯太、岩崎貴洋、吉村誠  
人、出村郷志、坂田英明  
一軸圧力下における STM 観察の試み II  
日本物理学会  
2017年

藤澤唯太、小関紘矢、椎名雅彌、出村郷  
志、坂田英明  
STM による  $2H-NbSe_2$  表面における  $1T$  相の電  
子状態の研究  
日本物理学会  
2017年

藤井大智、藤澤唯太、秋山健太、岩崎貴  
洋、出村郷志、坂田英明  
走査トンネル顕微鏡 / 分光法による  
 $1T-TaS_2-xSex$  の電子状態の観察  
日本物理学会  
2017年

Yuita Fujisawa, Hiroya Koseki, Masaya  
Shiina, Shun Ohta, Satoshi Demura, Hideaki  
Sakata  
Observation of surface  $1T$  phase on  
 $2H-NbSe_2$  by STM/STS  
International symposium on  
Superconductivity (国際学会)

2017 年

Fujisawa Y., Iwasaki T., Iwashita J.,  
Kishimoto K., Nakada M., Fujita T., Demura  
S., Sakata H.

Interference of  $13 \times 13$  and  $3 \times 3$   
supermodulations in TaS<sub>2</sub> probed by  
scanning tunneling microscopy

International conference on Low  
temperature Physics (国際学会)

2017 年

Fujii D., Iwasaki T., Akiyama K.,  
Fujisawa Y., Demura S., Sakata H.

Electronic state of domain structure in  
transition metal dichalcogenide  
1T-TaS<sub>2</sub>-xSex observed by STM/STS

International conference on Low  
temperature Physics (国際学会)

2017 年

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

## 6 . 研究組織

### (1)研究代表者

坂田 英明 (SAKATA, Hideaki)

東京理科大学・理学部・教授

研究者番号 : 30215636

### (2)研究分担者

なし

### (3)連携研究者

なし

### (4)研究協力者

なし