

擬一次元伝導体斜方晶 TaS<sub>3</sub> の単結晶成長と電気伝導特性○江面好紀<sup>1</sup>, 石川徳大<sup>1</sup>, 吉村周人<sup>1</sup>, 胡桃聡<sup>2</sup>, 鈴木薫<sup>2</sup>, 松田健一<sup>2</sup>\*Yoshinori Ezura<sup>1</sup>, Norihiro Ishikawa<sup>1</sup>, Syuto Yoshinura<sup>1</sup>, Satoshi Kurumi<sup>2</sup>, Kaoru Suzuki<sup>2</sup>, and Ken-ichi Matsuda<sup>2</sup>

概要：本研究では、擬一次元伝導体中の電荷密度波状態を利用した小型電流標準の作製をめざし、斜方晶三硫化タンタル (TaS<sub>3</sub>) の髭状単結晶成長を行った。また、作製した結晶の電気抵抗の温度依存性測定から、約 200 K の温度以下で電荷密度波転移が生じることを確認した。約 80 K の温度において、電流電圧特性を測定したところ、非線形伝導を示したことから、電荷密度波の並進運動が生じていると考えられる。

## 1. 研究背景

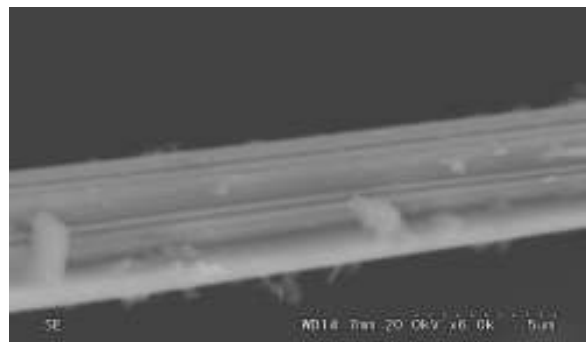
現在、「電圧標準」や「抵抗標準」は、それぞれ超伝導体／絶縁体接合を用いたジョセフソン効果や[1]、半導体の二次元電子系における量子ホール効果[2]によって、物理学の定数を用いて非常に正確に定められている。一方、電流については、前述の二つの電気標準から間接的に決定される。これに対し、電荷密度波の並進運動状態にマイクロ波を照射することで生じるモードロック現象[3]を利用した「電流標準」の提案がある。これが実現すれば、「電圧標準」や「抵抗標準」などの電気標準に比べて、非常に小型で、液体窒素温度程度で動作可能な「電流標準」を得ることになる。

本研究では、比較的の高い温度で電荷密度波転移を生じる斜方晶 TaS<sub>3</sub> を取り上げ、電流標準への応用を目指して、単結晶成長を行うこと、また、低温で電荷密度波状態が実現していることを確認することを目的とした。

## 2. 実験方法

本研究で用いた TaS<sub>3</sub> 結晶を作製した[4]。直径 25mm 長さ 200mm 程度の石英管内に、タンタル Ta と硫黄 S をモル比で約 1 : 3.1 程度となるように真空封入する。その後、電気炉内で約 550 °C に加熱する。硫黄は石英管内で気化して拡散し、金属の Ta 表面で TaS<sub>3</sub> の髭結晶が成長する。図 1 には、実際に成長させた TaS<sub>3</sub> 髭結晶の表面の電子顕微鏡像である。平均的には太さ数ミクロンから数十ミクロン程度、長さが数ミリ程度の髭状結晶が成長していた。

TaS<sub>3</sub> の結晶には、単斜晶と斜方晶の二つの結晶構造があることが知られているが、一般にエックス線等を用いた構造解析は容易ではない。結晶構造を決定する

Figure1. TaS<sub>3</sub> 結晶の表面の走査型電子顕微鏡像。

には、電気抵抗の温度依存性を測定し、そのデータから判別するのが最も容易である。そのため、次にこの TaS<sub>3</sub> 結晶の電気抵抗 - 温度特性を測定した。また低温における電流 - 電圧特性も合わせて測定をおこなった。

## 3. 実験結果

## 3. 1 電気抵抗の温度依存性

図 2 には、TaS<sub>3</sub> 結晶の電気抵抗の温度依存性を示す。ここで縦軸は電気抵抗の常用対数を取り、また、横軸は温度を  $1/T$  でスケールしたものを示している。一見してわかるように、温度がおおよそ  $T = 200$  K 付近で急激に上昇し、その後も温度の低下とともに抵抗値が上昇していることがわかる。200 K 付近の上昇は、金属から電荷密度波状態への相転移に伴うものと考えられる。電荷密度波転移によって金属的なフェルミ面が消失してエネルギーギャップが生じるため、低温に向かうにつれて抵抗値はアレニウス型の温度依存性（図中の直線はガイドライン）を示しながら上昇する。この特性から、電荷密度波転移に伴って生じるエネルギー

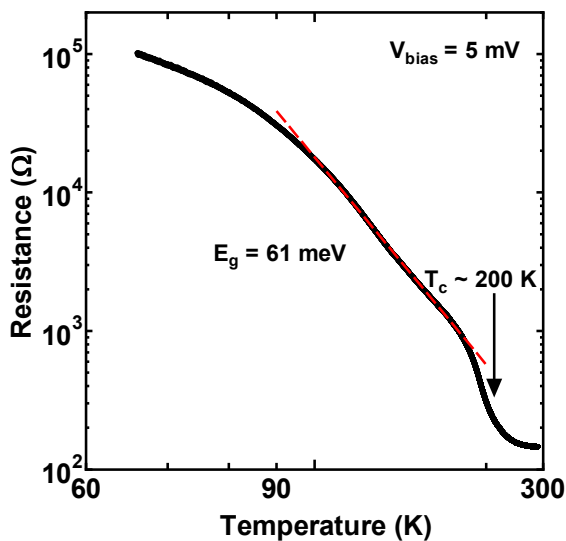


Figure 2. 電気抵抗の温度依存性.

ギャップの大きさを評価すると、約 61 meV 程度と見積もることができる。

TaS<sub>3</sub> には二つの結晶系があることは前に述べたが、この抵抗 - 温度特性から、今回作製した結晶が斜方晶 TaS<sub>3</sub> であることが確認された。

### 3. 2. 電流 - 電圧特性

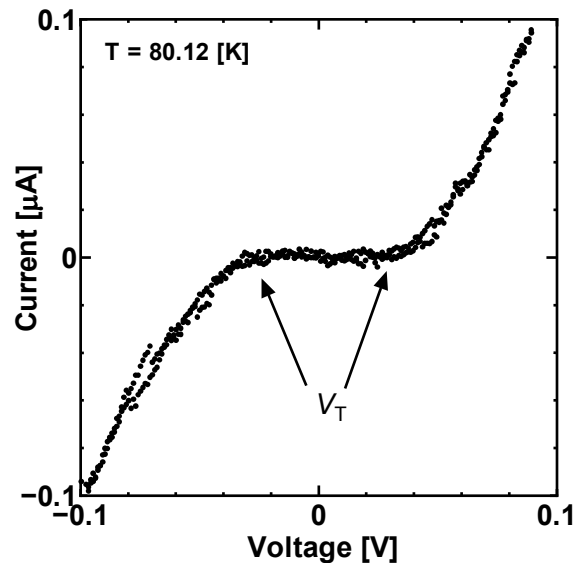
図 4 に、 $T = 80 \text{ K}$  における電流 - 電圧特性を示す。ただし、元のデータから金属的な線形成分を除去してある。

印加電圧が小さい領域では、ほぼ電流が生じないが、ある数居電圧( $V_T$ )以上の電圧を印加すると、正負どちらの極性でも電流が増加する傾向が見られる。これは、低電圧領域では電荷密度波状態が格子整合性や不純物によってピン止めされているために、電流に寄与しないこと、また、ある程度の電圧によってピン止めが外れたために電荷密度波の並進運動が生じ、それによって電流が増加した結果と考えられる。 [5]

### 4. まとめ

今回、小型かつ動作温度の比較的に高い電流標準の作製を目指し、擬一次元伝導体 TaS<sub>3</sub> の単結晶成長とその抵抗 - 温度特性、電流 - 電圧特性の測定を行った。育成した結晶は、平均的には数ミクロン程度の太さ、数ミリ程度の長さをもつ髭結晶であった。

これに対して電気抵抗の温度依存性測定を行ったところ、約 200 K 程度で電荷密度波転移を生じたことが確

Figure 3.  $T = 80 \text{ K}$  における電流 - 電圧特性.

認された。また、抵抗 - 温度特性の形から、今回育成した結晶が斜方晶であることも確認された。

電流 - 電圧特性の測定からは、電荷密度波の並進運動に伴う非線形伝導減少が確認され、この点からも、TaS<sub>3</sub> 中に電荷密度波状態が発現していることが確認された。

### 5. 今後の展望

今後は、電荷密度波の並進運動に伴う電流ノイズの観測、マイクロ波照射によるモードロック現象の観測、さらに、より細く一次元性の高い結晶の育成と加工を行い、ナノメートルスケールの電流標準の作製を行いたい。

### 6. 参考文献

- [1] A. Barone and G. Paternò, “*Physics and Applications of the Josephson Junctions*”, John Wiley & Sons, New York, (1982).
- [2] R. E. Prange and S. M. Girvin, “*The Quantum Hall Effect*”, Springer, New York, (1987).
- [3] M. S. Sherwin and A. Zettl, Phys. Rev. B **32**, 5536 (1985).
- [4] T. Sambongi, K. Tsutsumi, Y. Shiozaki, M. Yamamoto, K. Yamaya, and Y. Abe, Solid State Commun. **22**, 729 (1977).
- [5] G. Grüner, Rev. Mod. Phys. **60**, 1129 (1988).