

9. $\text{Nb}_{1-x}\text{M}_x\text{Se}_3$ ($\text{M}=\text{Ti}, \text{Ta}$) の電荷密度波状態 における非線形電気伝導

脇本啓嗣

NbSe_3 は b 軸方向に電気伝導度が大きい擬一次元電気伝導体であり、142 K 及び 58 K で、一次元金属に特有のパイエル転移を起こし、CDW (電荷密度波) 状態になる。 NbSe_3 の CDW 状態の特徴は、次の様な著しい非線形電気伝導を示すことである。

- しきい電場 (E_T) 以上で、電気伝導度は電場と共に急激に増加する。(この伝導度の増加分を σ_e とする。)
- σ_e は高電場の極限で一定値 σ_{e0} をとる。

この非線形電気伝導は、CDW が並進運動を行うため生ずることが、Hall 係数、及び熱電能の測定から明らかにされている。 E_T 以下の電場の下では、CDW は不純物との相互作用のために動くことができない。(これを CDW のピン止めと呼ぶ) が、 E_T 以上では電場による力がピン止めの力を上回り CDW は動き始める。このため、電場が E_T を越えると系の伝導度が増加するのである。しかし CDW の運動の具体的様子はまだ明らかでない点が多く、その運動の様子が端的に表われる σ_e の電場依存性もまだ理解されていないのが現状である。

σ_{e0} の大きさは、不純物をわずかに添加することによって急激に減少することがわかっている。このことから、CDW が運動している状態に対しても不純物が影響を与えていると考えられる。不純物は、CDW との結合の強さによって、強い不純物と弱い不純物とにわけることができ、それぞれの不純物が添加された系におけるピン止めの性質は全く異なる。これらの不純物の違いが、単に異なったピン止めの性質をもたらすだけでなく、ピン止めがはずれた後の CDW の運動に対しても異なった影響を与えると予想される。本研究では強い不純物として 4 a 族の Ti、弱い不純物として Nb と同じ 5 a 族の Ta を添加した結晶における σ_e の電場依存性を系統的に調べ、不純物の種類と CDW の運動との関係を調べた。なお CDW の運動は、不純物の存在に非常に敏感であるため、添加した不純物以外の化学的不純物や格子欠陥等をできるだけ減らす必要がある。このため結晶作成の際、原料や手順に充分注意する。又、始めに、結晶の成長条件の一つである成長温度と作成した結晶中に含まれる格子欠陥との関係を調べた。

成長温度の異なる不純物を添加しない結晶について測定した E_T の温度変化を図 1 に示す。不純物によるピン止めが支配的であると考えられる高温領域 ($T > 90 \text{ K}$) では、低温 (650°C ,

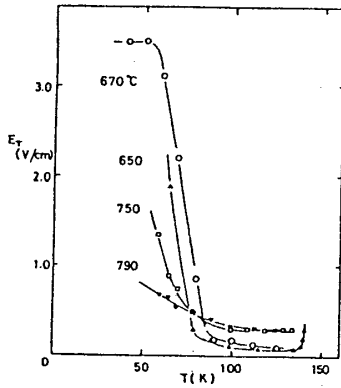


図 1

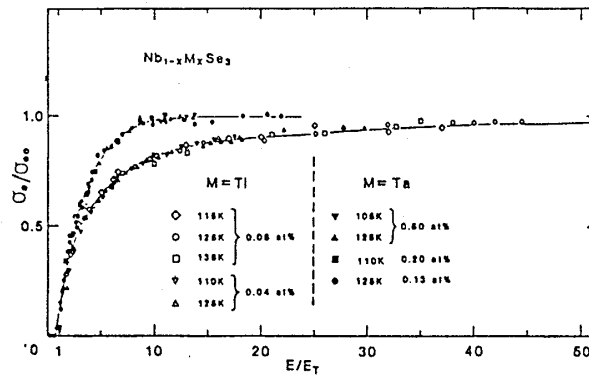


図 2

670°C) で成長した結晶の方が高温 (750°C, 790°C) で成長した結晶よりも E_T が小さい。又, 残留抵抗比は, 低温成長の方が大きな値を示す。このことから低温成長の方が格子欠陥等の不純物が少ないと考えられる。

低温成長の結晶では, 90 K 以下で E_T が急激に上昇し, 低温で再び一定値をとる。又, σ_e の電場依存性や σ_{e0} もこの温度を境に振舞いが変わる。これらのことから, 90 K で不整合-整合転移が起こっていると考えられた。しかし X線散乱により, CDW の波数 q の温度変化を調べたが, 90 K 以下においても不整合状態のままであった。

格子欠陥の少ない, 低温で成長させた $Nb_{1-x}M_xSe_3$ ($M = Ti, Ta$) の σ_e の電場依存性を図 2 に示す。図 2 では E を E_T で, σ_e を σ_{e0} で規格化してある。Ti および Ta を添加した結晶の電場依存性は, 温度, 不純物濃度に依らずそれぞれ一定の曲線にのっているが, Ti と Ta 両者の電場依存性は大きく異なっている。この結果は当初の予想通り, CDW の運動の様子は結晶中に含まれる不純物の種類に依存することを示している。また, 不純物を添加しない結晶での電場依存性は, Ti を添加した場合と一致している。このことから, 不純物を添加していない結晶では Ti を添加した結晶と同様に, 強い不純物がピン止めを支配していることがわかる。