

ひげ銀の研究

山形県立山形工業高等学校 科学部

顧問 安食 泰充

部員 佐藤 正尚・設楽 悠真・鈴木 聡

山形大学理学部 佐々木 実・大西 彰正・北浦 守

1. ひげ銀の人工合成

(1) ひげ銀とは？

ひげ銀は、銀鉱石に混じって稀に産出されるもので、岩石の表面から突出し、糸状にへばりつくような奇妙な形状をしたりする純粋な銀鉱石のことである。

(2) きっかけ

山形大学理学部物理学科量子物性研究室で、佐々木実教授らが Ag_2Se 単結晶の育成をしていたところ、偶然にひげ銀結晶が人工生成された。その時に使った方法は化学気相輸送法で、それを利用すると、天然ひげ銀結晶の成長機構を知ることが可能ではないかと考えられた。

そして、共同研究の話を私たち科学部にいただき、研究が始まった。

(3) 研究の過程と成果

化学気相輸送法は、反応させる物質を輸送剤とともに石英管に入れ真空状態にして、これを電気炉などを使い高温状態にすることで原料と輸送剤との反応を利用して目的物を合成する方法である。

石英管を11~13cm程度の長さにし、その中にSe, Ag, Cuの粉末を入れ、真空状態にしてから電気炉に入れた。その後、段階的に温度を上げて行き、 800°C で2週間反応させた。その

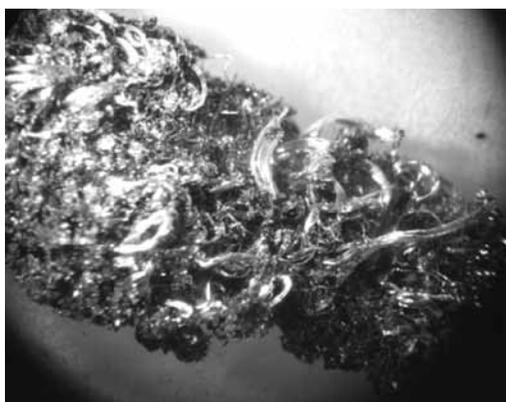


写真1 人工ひげ銀

後、電気炉から取り出し、実体顕微鏡で生成物(写真1)を観察した。

次に結晶成長の時間変化を観察できる透明電気炉(後述)を開発し、その中で反応させたが、中間生成物などでガラスが汚れてしまい、観察

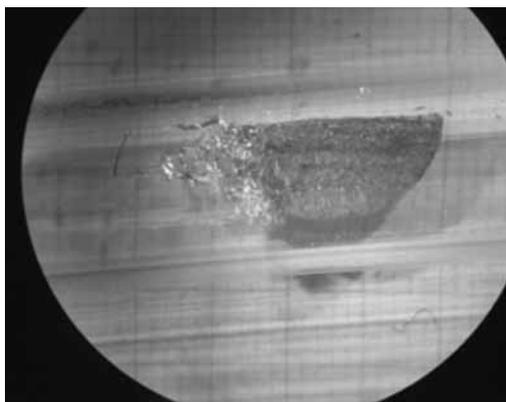


写真2 人工ひげ銀結晶

が難しかった。そこで、材料の粉末に高压をかけてペレット状にしてから石英管に入れ、前処理をしてから透明電気炉に入れた。そして、写真2のように、ひげ銀が低温側に多く生成することなどもわかってきた。

2. 磁気抵抗効果

(1) きっかけ

山形大学理学部物理学科教授の佐々木先生から共同研究の話をいただき、ひげ銀を育成していたところ、偶然にAg₂Se単結晶が生成された。そのAg₂Se単結晶の磁気抵抗効果の値が大きかったことから、ひげ銀とは別に磁気抵抗効果の研究が始まった。

(2) 磁気抵抗効果とは？

磁気抵抗効果とは、外部磁場によって電気抵抗が変化する現象であり、HDDの磁気ヘッドなどにも応用されている。

通常の金属などで見られる磁気抵抗効果は極めてわずかで、外部磁場の二乗に比例する特性を持っている。しかし、今回得られたものは、磁場に対して線形な特性である。これは、従来とは異なるメカニズムが存在することを示唆している。

(3) 目的

- ① Ag₂Se単結晶育成方法の確立。
- ② 育成条件の異なる単結晶の抵抗率の温度依存性の測定。
- ③ 液体ヘリウム温度での磁気抵抗効果の測定。

(4) 成果

- ① 化学気相輸送法を用い、適当な単結晶育成条件下でAg₂Se単結晶が育成できた。
- ② 抵抗率の温度依存性は図1のようになった。銅を触媒とする新しいAg₂Se単結晶育成法を見出した。
- ③ 液体ヘリウム温度 (-269℃) での磁気

抵抗効果は図2のようになった。

④ 図1から、触媒の銅はAg₂Se単結晶の電気的特性に大きく影響していないことがわかる。図2から、磁気抵抗効果が磁場に対して線形であることがわかる。

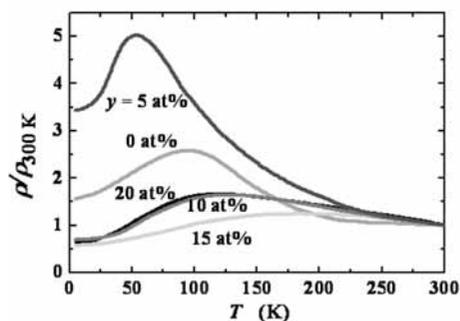


図1 抵抗率の温度依存性

T: 絶対温度 [K] ρ/ρ_{300K} : 比抵抗
 ρ : 抵抗率 ρ_{300K} : 300Kの時の抵抗率
 y: 触媒としてのCuの濃度

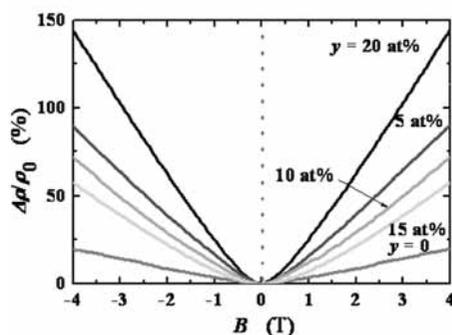


図2 磁気抵抗効果

B: 外部磁場 [T] $\Delta\rho/\rho_0$: 磁気抵抗効果(定義)
 ρ : 外部磁場=B [T]の時の抵抗率
 ρ_0 : B=0(ゼロ磁場)の時の抵抗率
 $\Delta\rho = \rho - \rho_0$

これは、従来のローレンツ力によるものとは異なる何らかのメカニズム (Abrikosovの理論など) が存在することを示唆している。また、Ag₂Seの磁気抵抗効果としては、今まで報告のない大きな値 (150%程度) が得られた。

この共同研究の成果は、新聞やNHKニュー

スでも取り上げられた。こういった最先端の研究に携わることが出来たことを、科学部ともども感謝したいと思う。

3. 透明電気炉の開発

(1) きっかけ

人工的にひげ銀を作ることが出来たことで、今まで解明されていなかったひげ銀の成長メカニズムがわかるのではないかと考えた。通常の電気炉では内部を観察することが出来ないので観察をしながらひげ銀を育成できる透明電気炉を開発した。ひげ銀を作るためには、「育成温度である700℃~1,000℃に達しなければならない。」「気相輸送法を用いるため、炉内に温度勾配がなければならない。」という条件を満たす必要がある。

(2) 開発過程

初めに石英管にヒーター線を巻き、観察場所の両端を断熱材で覆っただけの簡易的な電気炉を作った(写真3)。しかし、保温性が足りず、改良が必要だった。そこで観察場所以外を断熱材で覆い、ブリキの輪をはめて石膏で固めた(写真4)。これで保温性をかなり高めることができた。それでも、ひげ銀が育成できる温度に達することはできなかった。そこで、観察窓を取り付けたブリキの筒に写真4の電気炉を入れて隙間を石膏で埋めた。さらに保温ブロックを窓の両端に詰め、窓に耐熱ガラスをかぶせて保温した(写真5)。これにより、やっと保温の条件が達成できた。

(3) まとめ

今回製作した透明電気炉は900℃を超え、ひげ銀が育成できると思われる温度勾配ができた。そして、この透明電気炉を使用し、ひげ銀の育成に成功した(写真6)。

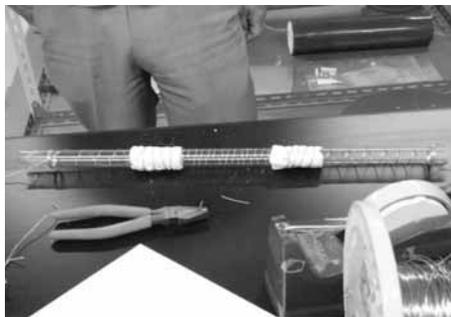


写真3 最初の簡易的な透明電気炉



写真4 保温性を強化した透明電気炉



写真5 現在の透明電気炉

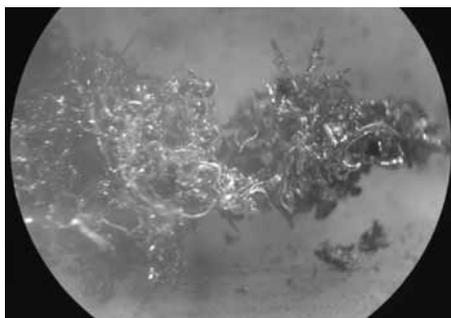


写真6 透明電気炉で育成に成功したひげ銀

4. 高大連携事業

山形大学 理学部

佐々木 実・大西 彰正・北浦 守

(1) 経緯

山形大学理学部物理学科の量子物性研究グループは、平成20年度から線形磁気抵抗効果を示す物質に注目し、その物性を調べてきた。中でも、 Ag_2Se は室温でも比較的大きな線形磁気抵抗を示す物質として注目されてきた。しかし、その研究のほとんどが薄膜や多結晶試料で行われてきた。そこで、単結晶試料における物性研究のため、化学気相輸送法で単結晶育成に取り組み、単結晶化に成功した。さらに、 Ag_2Se の単結晶に銅などの元素をドーブする試みを行ったところ、元素ドーブは起こらず、ひげ銀結晶が合成されることを発見した。

(2) 連携事業の意義

天然ひげ銀は銀鉱石に混じって稀に産出され、その奇妙な形状に古来から注目されてきた。ひげ銀の人工合成の研究は、なぜあのような不思議な形状の銀結晶が出来るのかという課題を実験室レベルで解明できうる。しかしながら、ミリメートルサイズのひげ銀を人工的に合成した例はない。そこで、ひげ銀結晶の共同研究相手を探していたところ、SPP事業等を行っていた県立山形工業高等学校の科学部との共同研究をする事となった。そして平成21年1月より人工ひげ銀の共同研究が始まった。ちょうどその頃、山形大学理学部と山形工業高校は高大連携協定を結んだ。この研究は、大学と高等学校が対等な立場で連携事業を行うという理想的でか

つ新しい連携事業であり、全国的にもまれな取り組みである。

(3) 経過と成果

最初は、高校生との本格的共同研究が行えるのか不安であり、また、どのようにして高校生に研究の意義や実験方法をわかってもらえるか試行錯誤の状態であった。しかし、生徒たちが積極的かつ主体的に取り組んでくれたので、一緒に研究を行っていくうちにその不安は払拭された。幸い実験研究であり、これは実験を進めていく過程で、本人たちの知識や経験の範囲で考えて試行して行くうちに、新たな発想を行ったり解決方法を見いだしていくものである。

共同研究がこれほどの成果を得たのは、顧問の安食先生の熱心な生徒指導と積極的な取り組みのお陰である。

(4) 今後に向けて

共同研究は始まったばかりであり、多くの問題点を解決する必要があるが、通常の研究活動では得られない経験とノウハウにより、必ず成果が得られると確信している。本連携事業自体は全く新しい取り組みであるが、最終目標ではなく、私達が理想としている連携に向けて邁進していきたい。

