

ルビーは何色に耀く!?

雲井 玲佳 中藤 朱里

要約

私たちがこの研究をしようと思ったきっかけは、人工的に宝石を作ることができると知ったことだ。そのうえで、過去に先輩がルビーの単結晶の作成に成功したということを知り、より興味を持ち、実験を行った。ルビーは、酸化アルミニウム(Al_2O_3)に微量の酸化クロム(Cr_2O_3)を混ぜ、熔融する際、酸化アルミニウムの Al^{3+} が Cr^{3+} に置換されて出来上がる。今回、私たちは、酸化アルミニウムに混ぜる酸化クロムの割合を変えてみるとどうなるのか、ということに着目し実験を行った。先行研究によると、ルビーは、酸化クロムを混ぜる割合が増えるほどその色は黒さを増していく。実験では酸化アルミニウムに酸化クロムを混ぜる割合(物質質量比)を1%~5%と変えて色の変化を見た。結果として、酸化クロムを1%混ぜた試料は熱したところ、融かすことができなかった。2%~5%の試料は、全て融かすことができ、わずかではあったが肉眼で色の違いを確認することができた。

1. 序論

探求Ⅱの授業で自分が興味のあることを自由に調べることができると知り、以前から少し興味があった宝石について調べた。まず、どうすれば宝石を作ることができるのか調べていると、宝石の中でもルビーは人工的に作れること、過去に先輩が作ったことがあることを知り、ルビーについて詳しく調べることに決めた。

先輩の実験では、酸化アルミニウムに酸化クロムを3%混ぜた一種類のみを作成していた。これにより、ルビーを実際に作ることは可能だとわかったので、この実験に加えて、さらに酸化クロムを混ぜる割合を変化させて、色の違いを確認することにした。

2. 本論

<結晶構造>

ルビーは、主成分が酸化アルミニウム Al_2O_3 であり、結晶構造は「コランダム構造」である。コランダム構造とは結晶格子が6個の酸化物イオン O^{2-} と1個のアルミニウムイオン Al^{3+} からできている結晶構造であり、この中の Al^{3+} が Cr^{3+} に少量置換されることによってルビーができる。また、置換できる物質は Cr^{3+} に限らない。例えば、鉄やチタンを置換すると青色に耀くサファイアができる。

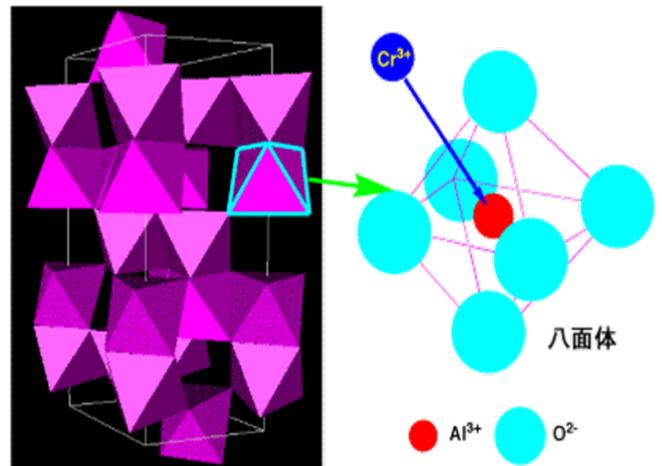


図1. コランダム構造

<発光の原理>

ルビーが赤色に発光するのは、ルビー内の電子がもつエネルギーと関係がある。ルビー内の電子は、光エネルギーを吸収すると、エネルギー準位が基底状態から励起状態へと上がる。エネルギー準位が高いと不安定なので、元の基底状態よりは少し高い状態まで下がり安定する。このとき、励起状態の準位と次の安定な状態の準位の差に相当するエネルギーがルビーの赤色の光となって放たれる。

<実験>

i) 実験装置

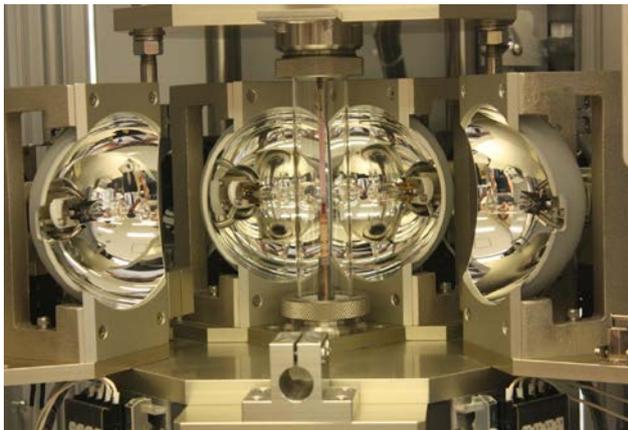


図2. 溶融装置全体

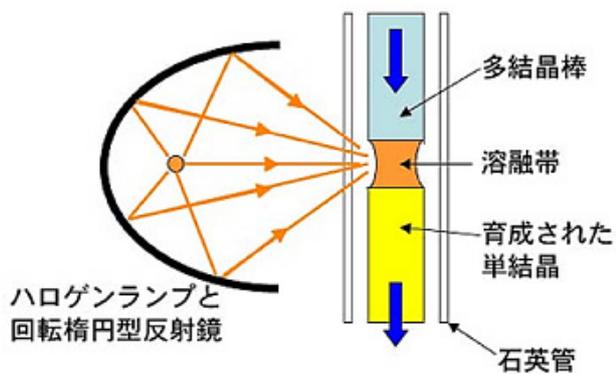


図3. 溶融装置の仕組み

今回の実験では「四楕円型浮遊帯域溶融装置」を使った。この装置は、石英管と呼ばれるガラス管の内側にルビーの試料棒をつるし、加熱してルビーを成長させる。石英管の周りには焦点を2つ持つ楕円型の鏡が4つついており、それぞれの楕円の片方の焦点にハロゲンランプを、もう片方の焦点には、ルビーの試料棒をつるすと、焦点に集まったハロゲンランプの光の熱で溶融させることができる。

ii) 実験の流れ

- ①酸化アルミニウムと酸化クロムを乳鉢に入れ、乳棒で十分混合させる。十分混合させるためには、淡緑色になってから30分以上混ぜる必要があった。



図4. 原料の混合

- ②混ぜた物質を焼き固め棒状(ルビーの試料棒)にする。
- ③試料棒を2つに分ける。

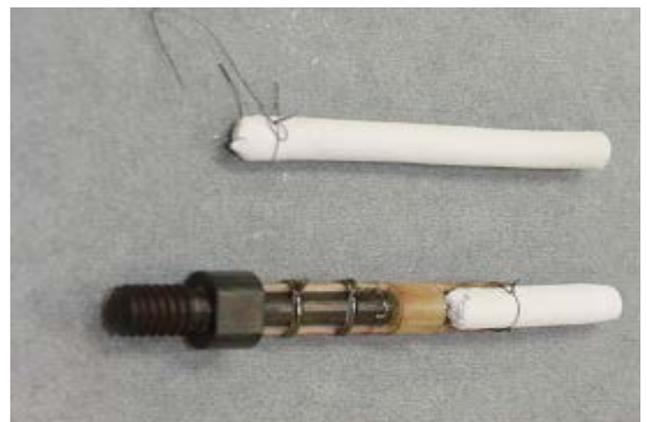


図5. 加熱前の試料棒

- ④装置に吊るせるように、モリブデンでできた金属線で取っ手を取り付ける。
- ⑤装置に取り付け、熱する。

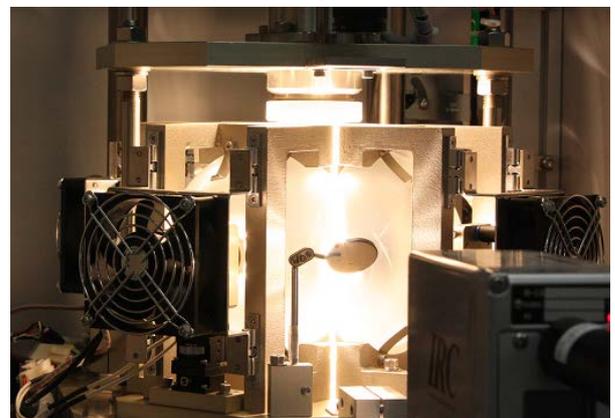


図6. 試料棒の加熱

<実験結果>

混合した酸化クロムの割合を1%~5%と変えて実験を行った。以下に熱した後の試料棒の写真を示す。

結果①

Cr 含有量 1%



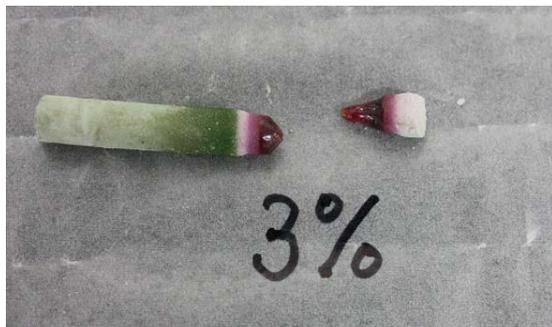
結果②

Cr 含有量 2%



結果③

Cr 含有量 3%



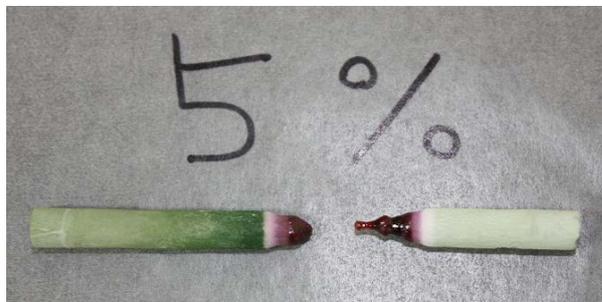
結果④

Cr 含有量 4%



結果⑤

Cr 含有量 5%



<結果まとめ>

- ・顕微鏡で作成した結晶の先端部分を観察したところ、成長過程のルビーの結晶が確認された。
- ・Cr 含有量 1%では、試料棒が融けずルビーはできなかった。
- ・今回の実験で作成した Cr 2%~5%では、肉眼で見ると、少しずつではあるが、先行研究のようにだんだん黒さが増すことが確認できた。

<考察>

Cr 含有量 1%のルビーが融けなかった理由としては、試料棒の色が、関係していると考えられる。ルビーの試料棒はCr含有量が多いほど白色から緑色に近づいたことから、白色は緑色よりも光を吸収しにくいために1%では、その他のものに比べ温度が上がらなかったと考えられる。

3. 結論

今回私たちは、Cr 含有量の変化に伴うルビーの色の変化を観察することを目的に実験を行った。結論として、二つのことが分かった。一つ目は、Cr 含有量が1%のときには、今回のような実験の条件（装置の性能）ではルビーはできないということだ。二つ目は、Cr 含有量の違いによるルビーの色の変化は、先行研究のように、肉眼で少しずつではあったが、黒さが増すことが確認できた。

4. 参考文献

- ・探究Ⅱ論文集(2010年度)
- ・色の科学(中原勝儼著)(培風館)

5. 謝辞

お世話になった岡山大学理学部物理学科 池田先生、TA の船江先生、戸田先生ありがとうございました。