

# Ruby ( $\text{-Al}_2\text{O}_3 ; \text{Cr}^{3+}$ )



発表日 平成14年11月6日  
発表者 湯浅 聖子  
指導教官 秋重 幸邦教授

# はじめに

---

---

ルビーは赤い色をした美しい宝石としてよく知られている。

20世紀初めから、合成ルビーが作られるようになった。  
ルビー特有の性質に着目し時計や精密機器の軸受け、医学用、光学材料と広範な用途に使われており、さらなる研究・開発が行われている。

では、ルビーがどのような性質をもっているのか紹介する。



# ルビー ( $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3; \text{Cr}^{3+}$ ) の構造

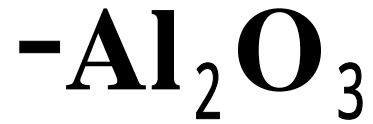
## コランダム型構造

- $\text{A}_2\text{B}_3$  型イオン結晶をつくる代表的な構造である
- コランダムは酸化アルミニウム  $\text{Al}_2\text{O}_3$  の  $\alpha$  型のことをいう



$\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  と記す

$\text{Al}_2\text{O}_3$  は他に  $\beta$  型などさまざまな変態があるが、最も安定な  $\alpha$  型のことをコランダムといい、その他の型はコランダムではない。



結晶系および形態

三方晶系、柱状、断面は六角形

単位格子

2つの酸素八面体が面を共有した  
もので構成される。

a軸 4.7589( )

c軸 12.9912( )

性質

融点 2050

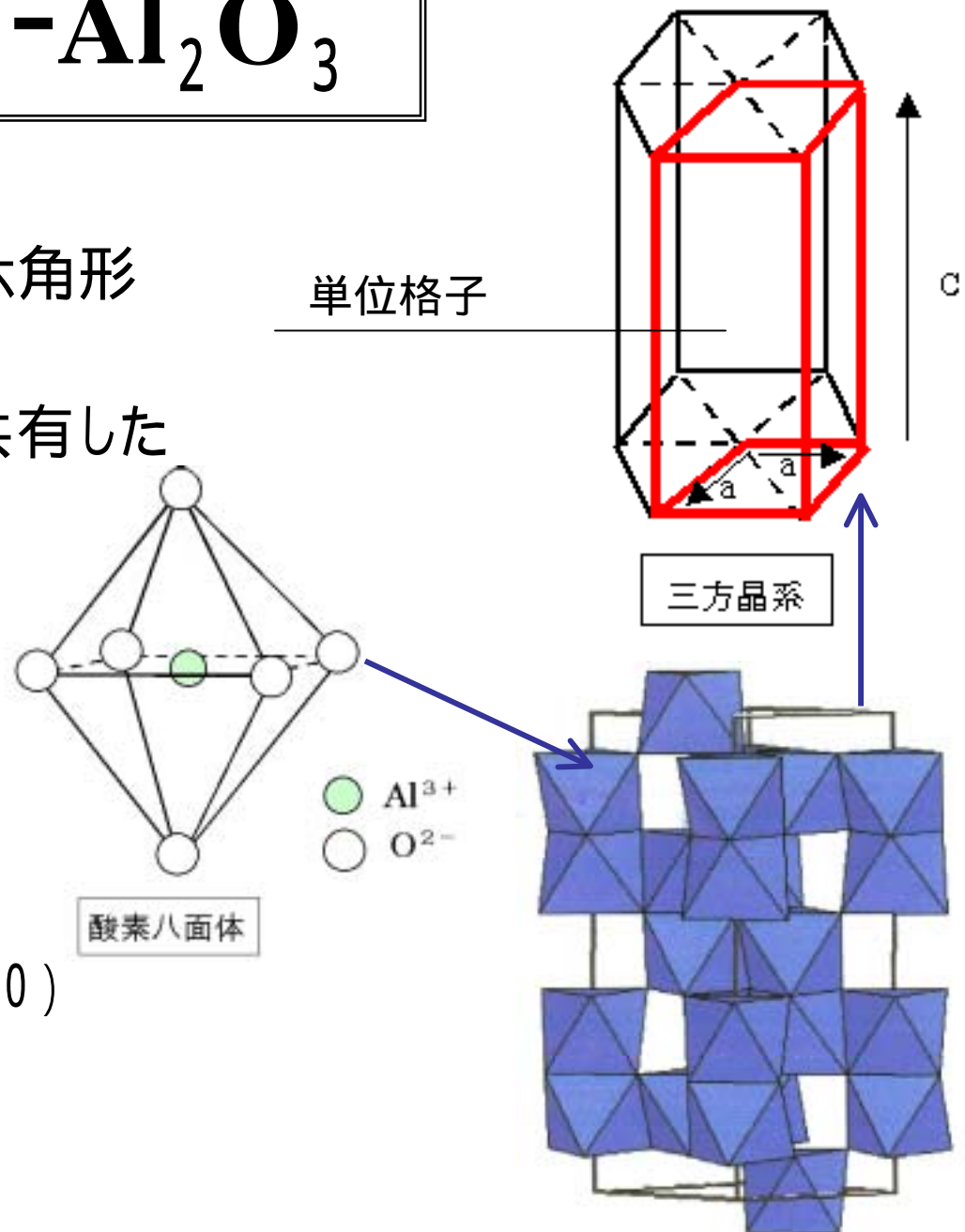
酸・アルカリに不溶

硬度 9 (ダイヤモンドは10)

用途

耐火材・絶縁体・研磨材

道路標示の塗料など



$-\text{Al}_2\text{O}_3$	鉱物名	色	写真
$-\text{Al}_2\text{O}_3$	コランダム	無色透明	
$-\text{Al}_2\text{O}_3 ; \text{Cr}^{3+}$ (0.01 ~ 3%モル)	ルビー	赤	
$-\text{Al}_2\text{O}_3 ; \text{Ti}^{4+}$ $\text{Fe}^{3+}$ (0.1 ~ 0.2%モル)	サファイア	青	

$\text{Al}_2\text{O}_3$  結晶の中で  $\text{Al}^{3+}$  イオンの 0.01 ~ 3%モルを  $\text{Cr}^{3+}$  イオンが置換している。

$\text{Cr}^{3+}$  イオンが 400 ~ 550nm (青や緑) 付近の波長を吸収するために赤く見える。

# ルビーの特性

## a) 蛍光

黄色い光、青い光など単一の光からなる単色光の下では、その光と同じ色以外の物体は色みを失いくすんだ灰色に見えるようになる。  
トンネルの中もこれと同じ現象が見られる。

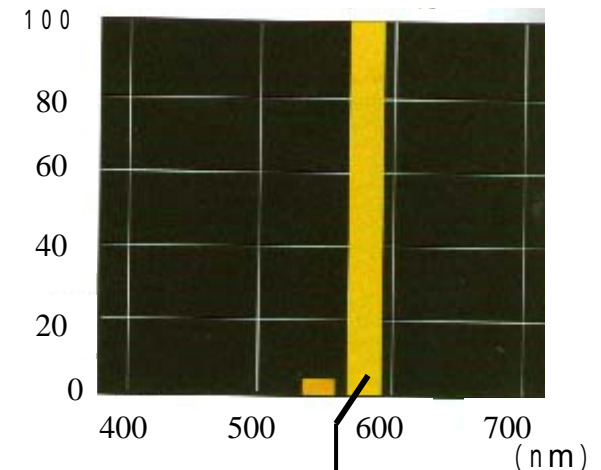


自然光



ナトリウムランプ

(%) ナトリウムランプ分光分布



ほぼ589nm

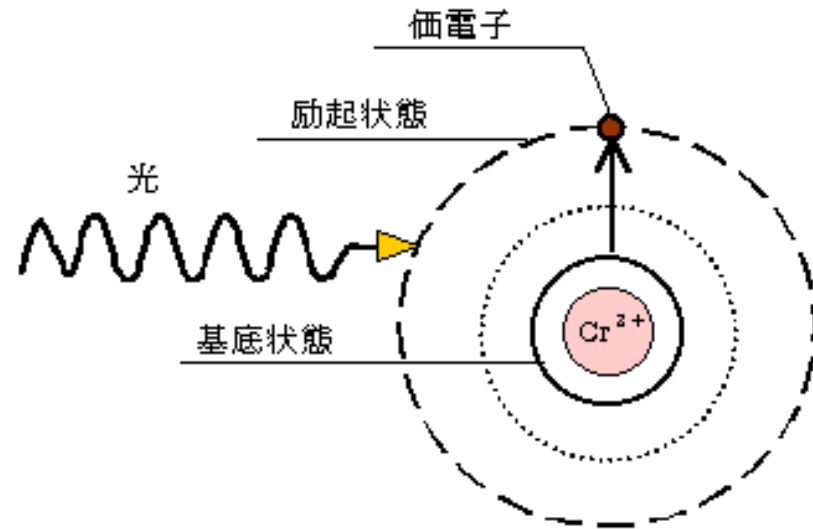
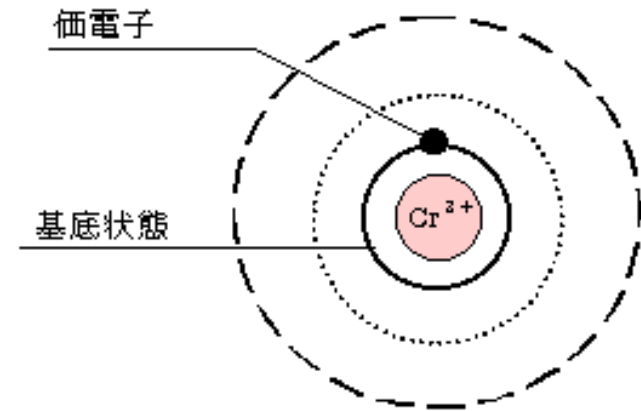
しかし、ルビーは単色光の下でも赤い色を発光する。  
その発光される光が蛍光である。

# ルビー蛍光の原理

$\text{Cr}^{3+}$  イオンの価電子が回っている軌道を基底状態いう。

外部から光や熱などのエネルギーを与えないかぎり、価電子は基底状態を回っている。

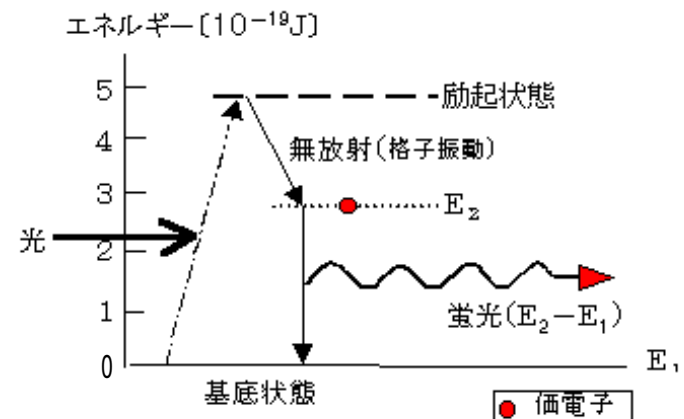
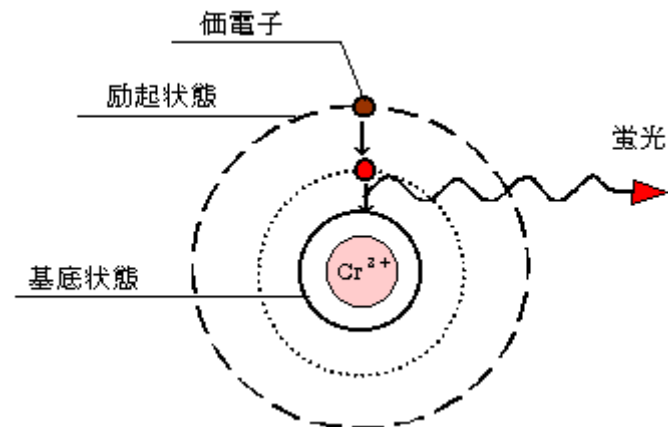
ルビーに光を照射することによってエネルギーを吸収した価電子は基底状態から高い軌道へと励起される。



励起状態にある価電子が再び基底状態に戻るときに、吸収したエネルギーを放出するが、一度別の軌道に入るのでエネルギーの一部が格子振動等に使われる。

そして基底状態に戻るときに放出されるエネルギーが赤い光に相当する。

そのエネルギーは $E_2$ と $E_1$ の差に等しいので、次式を満たす光が放射される。  $694.3\text{ nm}$



$$E_2 - E_1 = h \nu = hc / \lambda$$

$h$ : プランク定数  $6.626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$

$\nu$ : 光の振動数

$c$ : 光速  $2.998 \times 10^8 \text{ m} / \text{s}$

$\lambda$ : 波長

## b) レーザーとしてのルビー

1960年、アメリカのMaimanが初めてレーザーの発振に成功した。  
そのとき用いられたものが、ルビーであった。

### ● レーザー

Light Amplification By Stimulated Emission of Radiation

誘導放出による光増幅 の頭文字をとって名づけられた。

波長、振幅、方向が一定の光である。

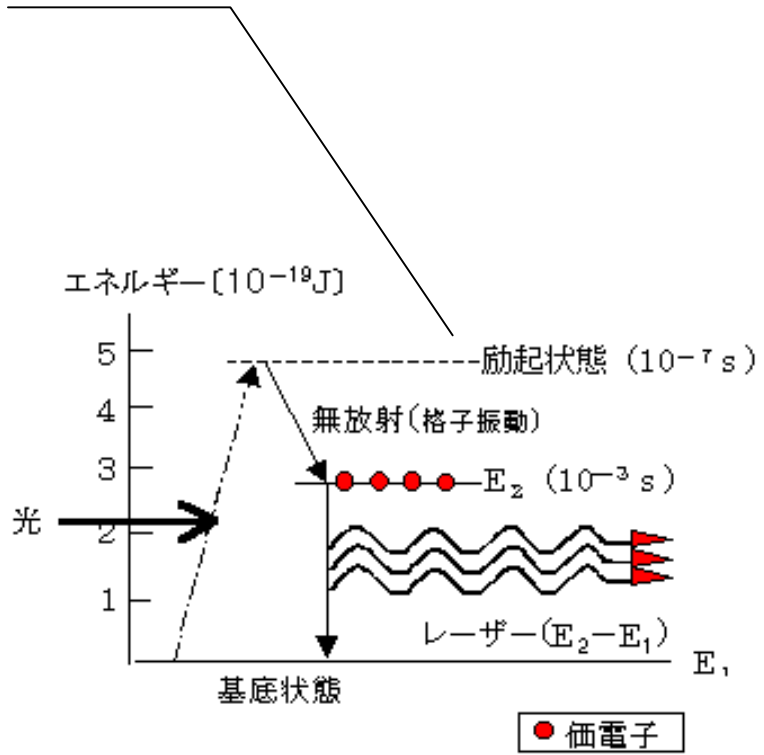
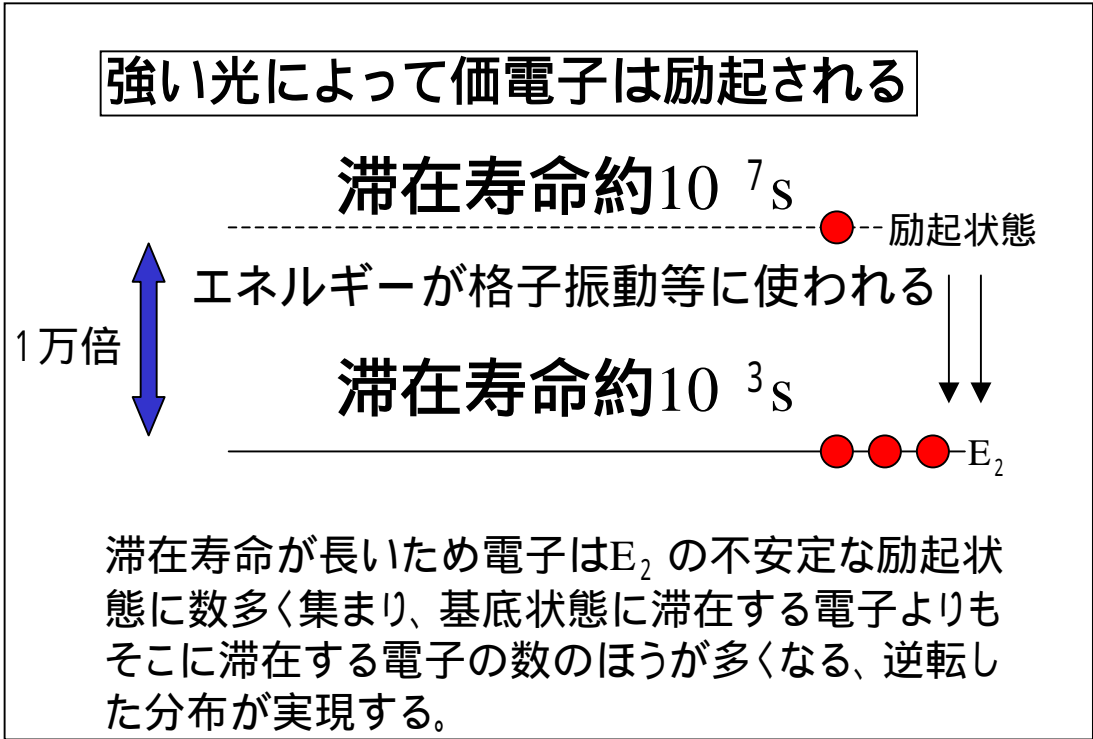


コヒーレント

### ● レーザー用ルビー

$\text{Cr}^{3+}$  を約0.05%モル含む人工単結晶

# ルビーレーザーの原理

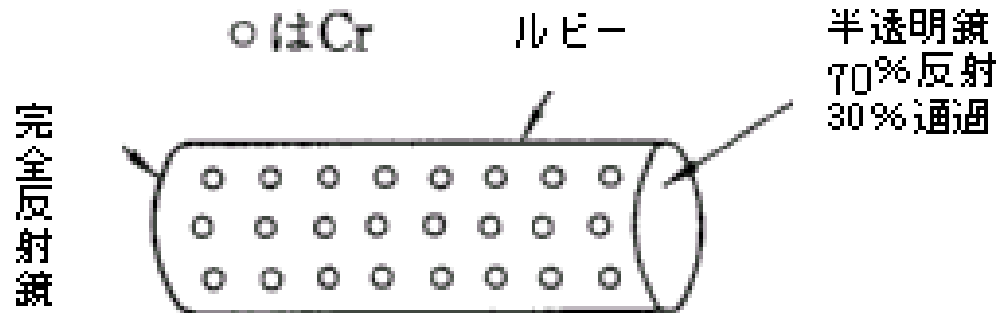


すると電子は基底状態へと一気に落下し、そのとき放射する光がレーザーである。

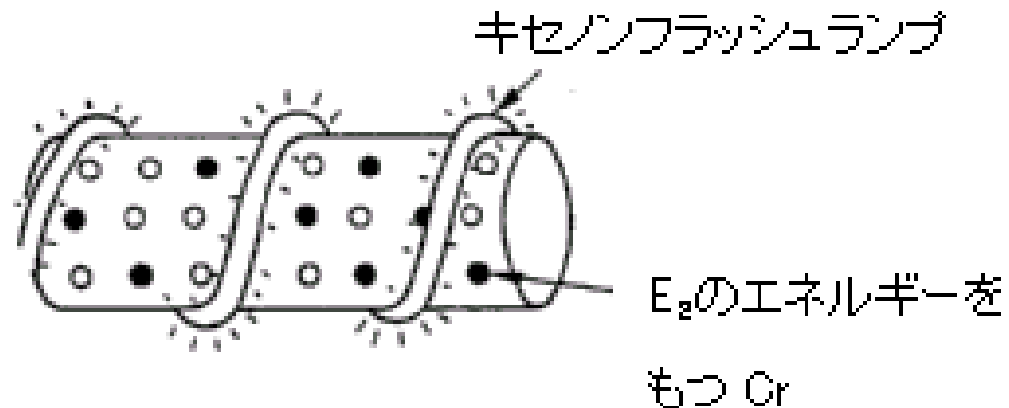
ルビーレーザーの波長はおよそ  $694.3 \text{ nm}$  (赤色光) で、蛍光と同じです。

# プロセス

ルビー結晶の両端を軸に平行に切り一端は完全な反射、もう一端は半透明な鏡として作動するように研磨する。

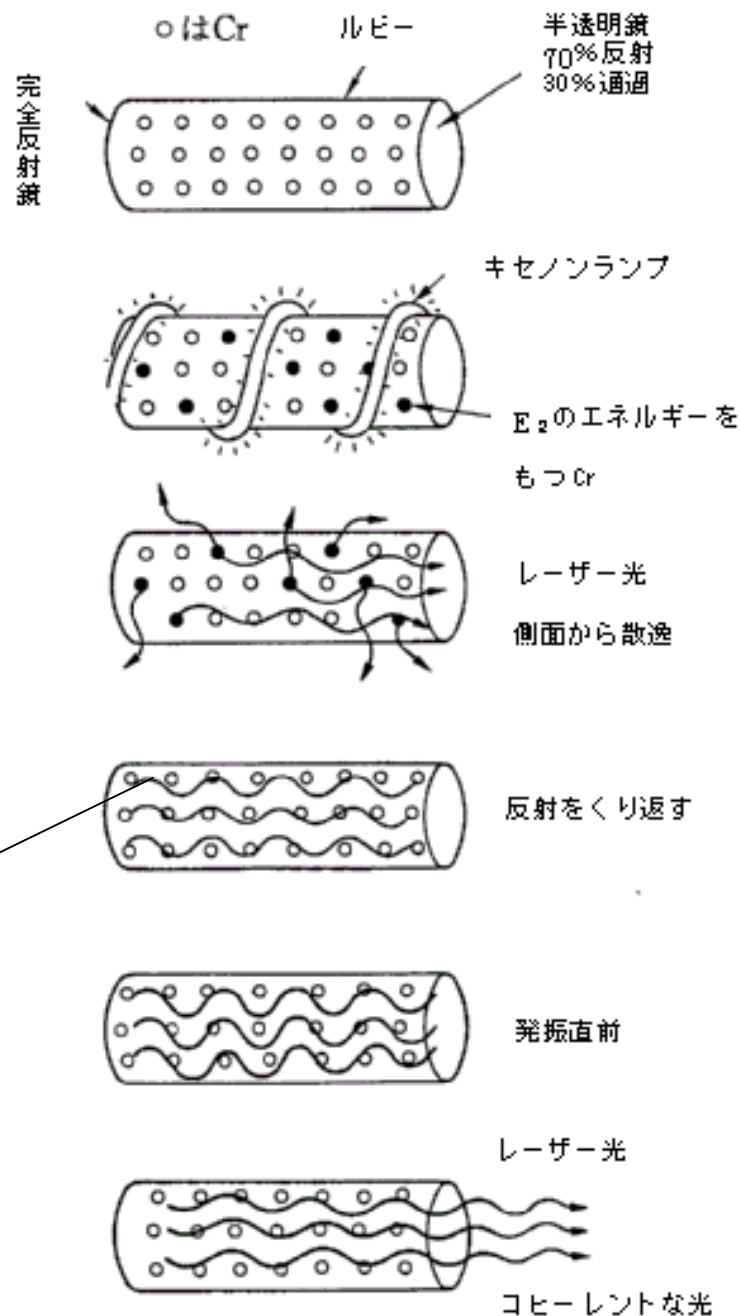
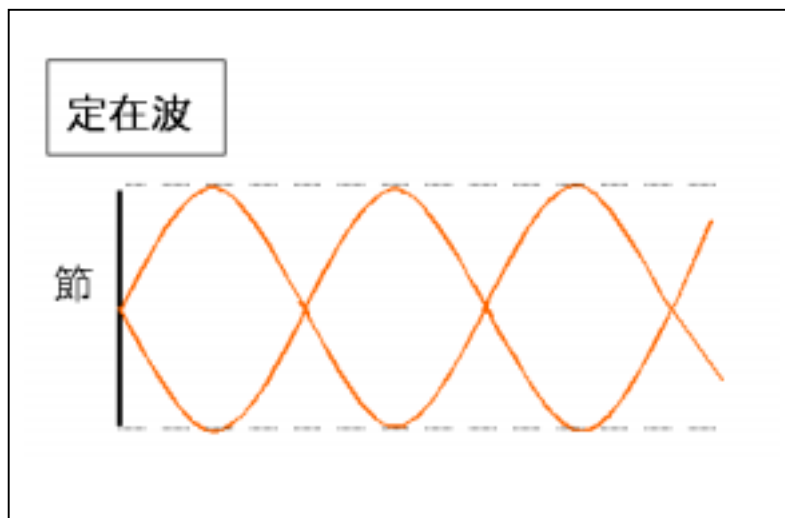


このルビー結晶にキセノンフラッシュランプの強い光をあて $\text{Cr}^{3+}$ 価電子を励起する。



電子の落下により放射された光は、両端の面を往復して、両端の面が節になった定在波に成長する。

そして、価電子は基底状態より励起状態に滞在する電子が多くなる、逆転した分布が実現すると、いっせいに電子が基底状態に落下し、半透明鏡からレーザー光が放射される。



# まとめ

ルビーの蛍光する性質を利用して、微細な空間の温度測定や、圧力測定材料などとしての有用性が考えられている。

このように、ルビーは宝石として美しいだけでなく、物理的に興味深い性質をもっている。