

高温超伝導体

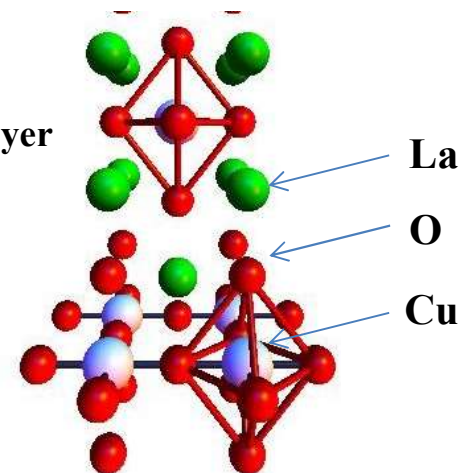
高温超伝導体: $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$

CuO_2 -layer が重要

$x=0$ (La_2CuO_4) 絶縁体 $\rightarrow$ 遷移金属酸化物: CuO

CuO_2 layer

CuO_2 layer



PERIODIC TABLE OF THE ELEMENTS

<http://www.ktf-split.hr/periodni/en/>

GROUP 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18

PERIOD 1 2 3 4 5 6 7

RELATIVE ATOMIC MASS (1)

GROUP IUPAC

ATOMIC NUMBER

SYMBOL

ELEMENT NAME

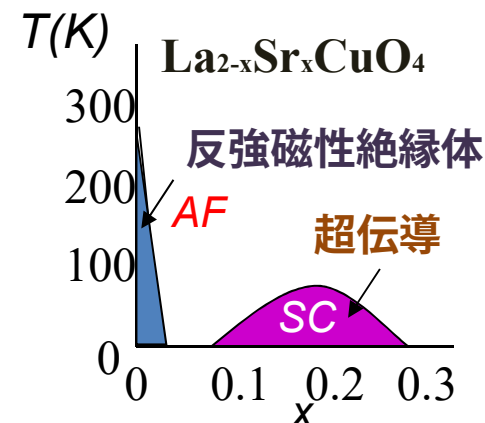
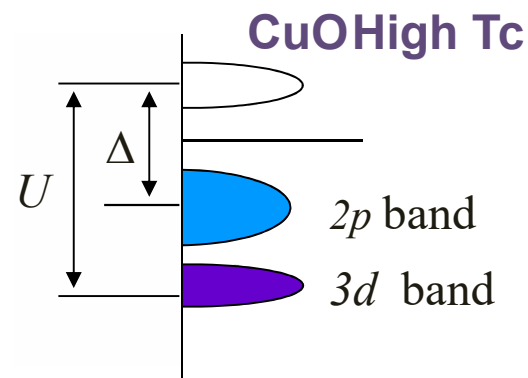
Legend: Metal, Semimetal, Nonmetal, Alkali metal, Alkaline earth metal, Transition metals, Lanthanide, Actinide, Chalcogens element, Halogens element, Noble gas.

STANDARD STATE (25 °C, 101 kPa): Ne - gas, Fe - solid, Ga - liquid, Tc - synthetic.

LANTHANIDE: La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu

ACTINIDE: Ac, Th, Pa, U, Np, Pu, Am, Cm, Bk, Cf, Es, Fm, Md, No, Lr

Editor: Aditya Vardhan (advir@netlinx.com)



$\text{Ti}_2\text{O}_3, \text{VO}_2, \text{FeO}$

$(\text{CoO}, \text{NiO}, \text{MnO} \quad \Delta \sim U)$

超伝導

基本性質

電気抵抗の消失, 永久電流の存在

$T=T_c$ における電気抵抗の消失

T_c における比熱の異常

秩序相への二次相転移

マイスナー効果

完全反磁性

臨界磁場

強磁場で超伝導の消失

同位体効果

T_c に原子核の質量依存性

$$T_c \propto M^{-\beta}$$

格子振動との関連

$$\omega = \sqrt{\frac{4C}{M}} \left| \sin \frac{1}{2} Ka \right|$$

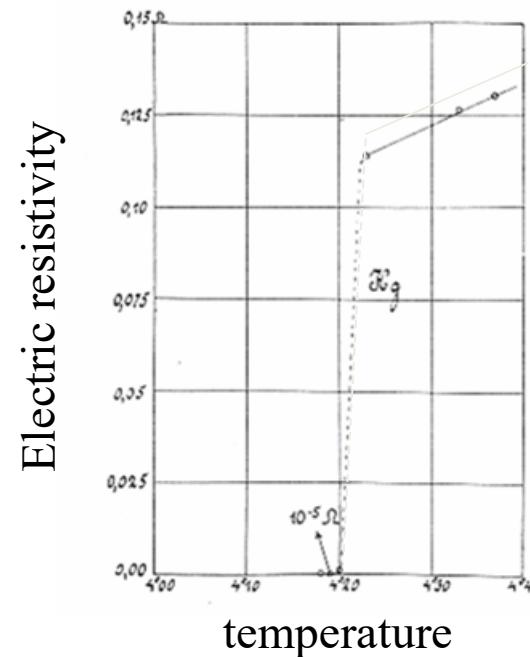
1911 H.Kamerlingh-Onnes Hg $T_c=4.2\text{K}$ discovery of SC

1957 J.Bardeen, L.Cooper, J.R.Schrieffer BCS theory

1986 discovery of high T_c superconductor

抵抗の消失

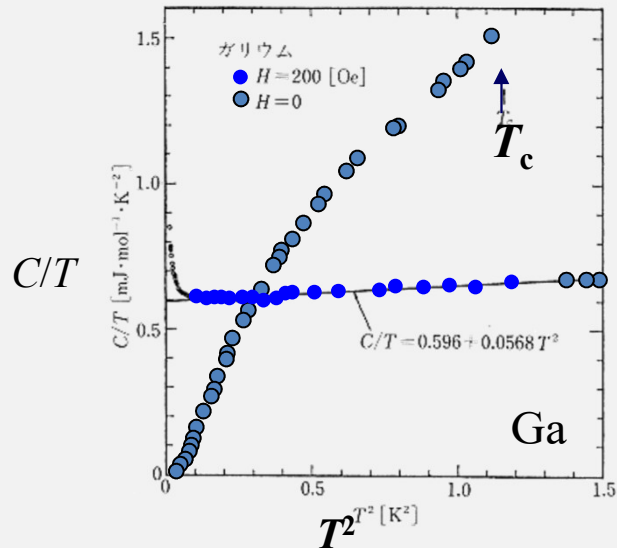
Hg $T_c=4.2\text{K}$



1911 H.Kamerlingh-Onnes

超伝導

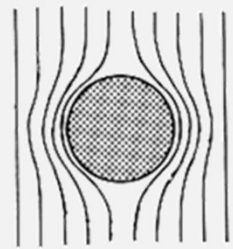
比熱の異常



秩序相への二次相転移

マイスナー効果

完全反磁性

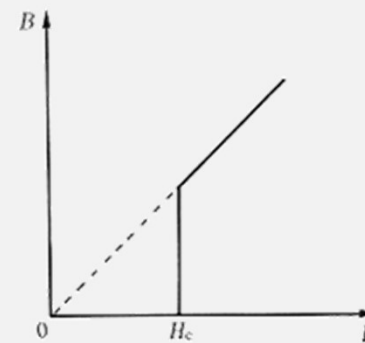


(a)

磁場は超伝導体の表面に
僅かに侵入する

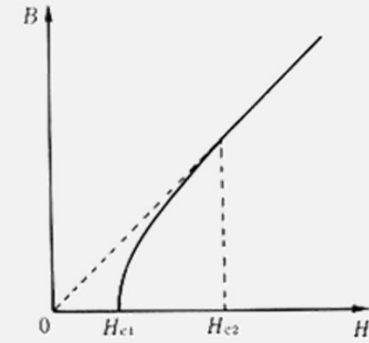
λ : 磁場侵入長
 $\lambda = 100 \sim 1000 \text{ \AA}$

第1種超伝導体



臨界磁場
正常相へ転移

第2種超伝導体



上部臨界磁場
正常相へ転移

下部臨界磁場
磁場が内部に侵入

同位体効果

転移温度の原子核質量依存性



格子振動が超伝導に関与している

$$T_c \propto M^{-\beta} \quad (\beta \sim 0.5)$$

$$\omega = \sqrt{\frac{4C}{M}} \left| \sin \frac{1}{2} Ka \right|$$

超伝導体

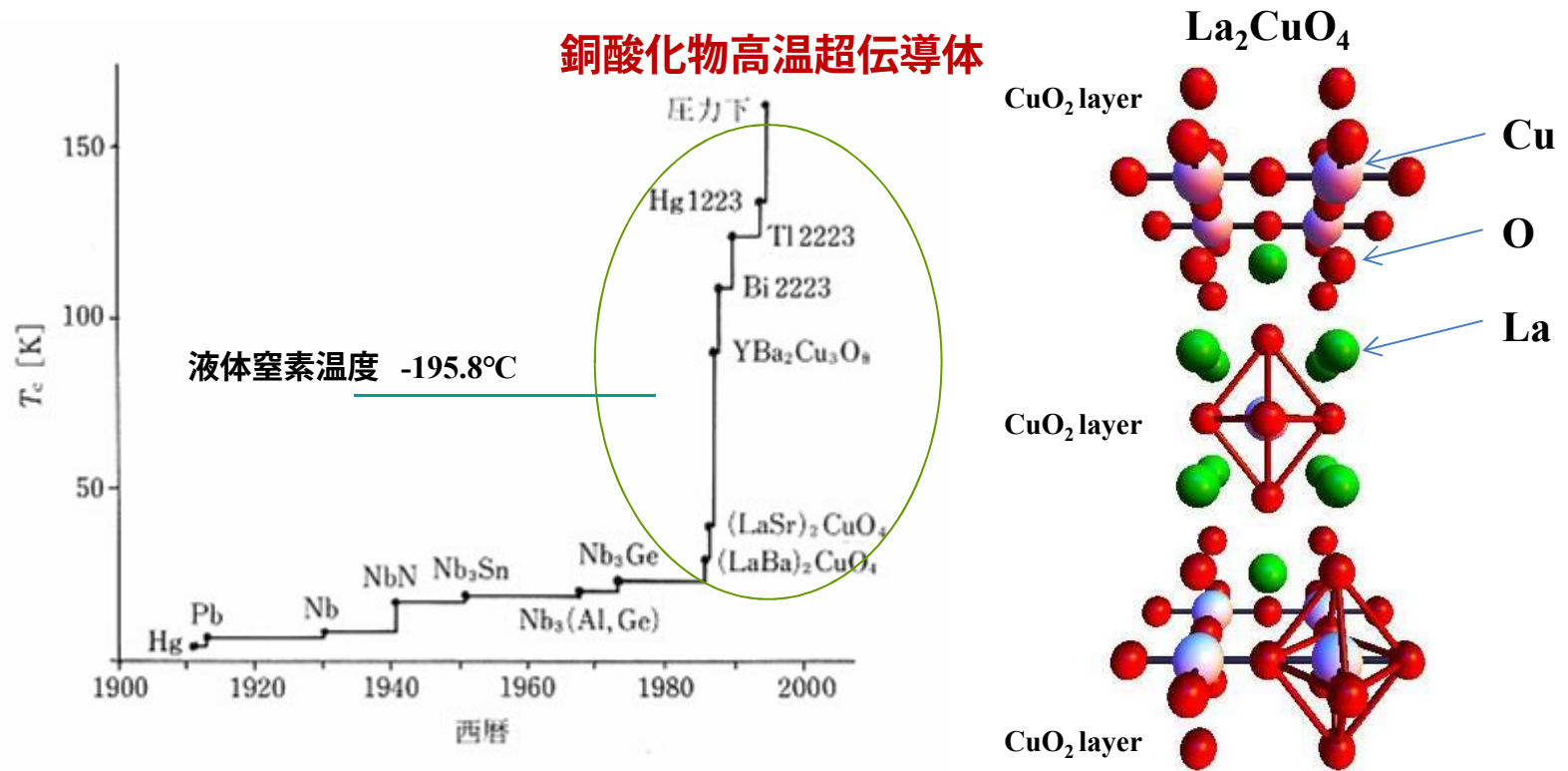
高圧で超伝導

The periodic table is color-coded and annotated to show superconducting and magnetic elements. Green shading indicates superconducting elements, while orange shading indicates magnetic elements. Red and orange arrows point to these groups. A green arrow points to Silicon (Si) in the top right.

Li	Be 0.026																	B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg																	Al 1.2	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti 0.39	V 5.3	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn 0.9	Ga 1.1	Ge	As	Se	Br	Kr						
Rb	Sr	Y	Zr 0.52	Nb 9.2	Mo 0.92	Tc	Ru 8.8	Rh 0.49	Pd	Ag	Cd 0.56	In 3.41	Sn 3.75	Sb	Te	I	Xe						
Cs	Ba	La 6.0	Hf 0.09	Ta 4.48	W 0.01	Re	Os 1.70	Ir 0.66	Pt	Au	Hg 4.16	Tl 2.4	Pb 7.2	Bi	Po	At	Rn						
Fr	Ra	Ac	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu 0.1							
			Th 1.37	Pa 1.4	U 1.8	Np	Pu	Am 0.79	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr							

大抵の単体の金属や半導体は低温1~9Kで超伝導状態に転移する

高温超伝導体



銅酸化物高温超伝導体

Discovered by Karl Müller and Johannes Bednorz in 1986

超伝導の現象論的理解

磁場中のハミルトニアン

$$H = \frac{1}{2m} (p - eA)^2$$

($e < 0$: electron)

速度 $v = \frac{\partial H}{\partial p} = \frac{1}{m} (p - eA)$

電流密度 $j = env = \frac{en}{m} (p - eA)$

$$\langle j \rangle = \frac{en}{m} (\langle p \rangle - eA) = -\frac{e^2 n}{m} A \quad \text{London equation}$$

$$\nabla \times B = \mu_0 j$$

$$\nabla \times B = -\frac{\mu_0 e^2 n}{m} A$$

現象論的仮定 $\langle p \rangle = 0$

$$\nabla \times (\nabla \times B) = \nabla(\nabla \cdot B) - \nabla^2 B = -\frac{\mu_0 e^2 n}{m} \nabla \times A = -\frac{\mu_0 e^2 n}{m} B$$

$$\nabla^2 B = \frac{\mu_0 e^2 n}{m} B$$

$$\nabla \cdot B = 0$$

$$\nabla \times A = B$$

マイスナー効果

$$B = B_0 \exp\left(-\frac{x}{\lambda}\right)$$

