

固体の原子配列秩序と物性
— 結晶・準結晶・アモルファス —

東京大学生産技術研究所 枝川 圭一

物質科学・材料科学
Materials Science

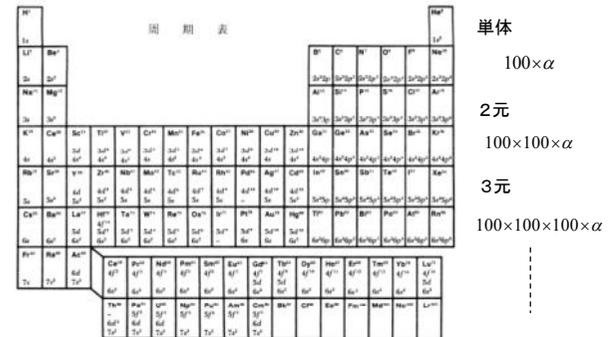
固体物質の科学

- ・固体物質の構造を明らかにする。
- ・固体物質の物性を明らかにする。
- ・物性と構造の関連を明らかにする。
= 物性の発現機構を構造に基づいて理解する。
- ・優れた物性を有する物質を開発する。

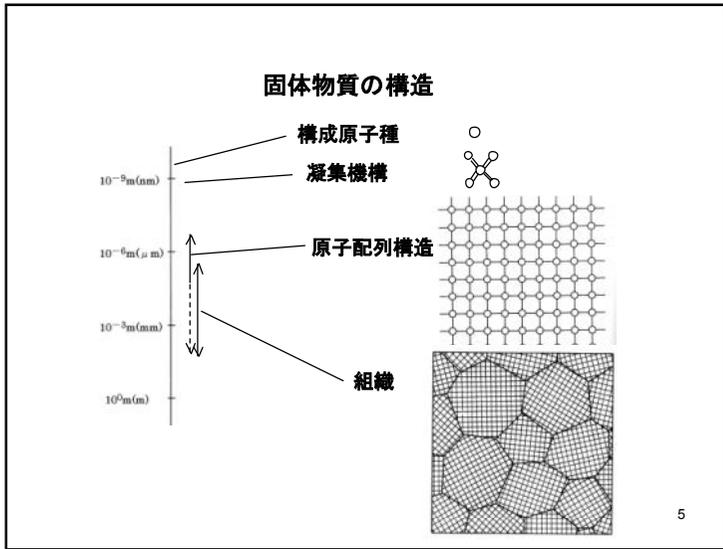
固体物質

- 金属** 純金属および合金
鉄(Fe)、銅(Cu)、アルミニウム(Al)、チタン(Ti)、
鋼(Fe-C)、銅合金、アルミニウム合金、チタン合金 ...
- 半導体** シリコン(Si)、ゲルマニウム(Ge)、ガリウム砒素 (GaAs)...
- セラミックス** 金属酸化物、炭化物、窒化物の絶縁体
アルミナ(Al₂O₃)、石英(SiO₂)、炭化硅素(SiC)...
- 高分子物質** C、H、O等からなる高分子からなる物質
ポリエチレン、ポリ塩化ビニル、ナイロン、

固体物質はいくつある？

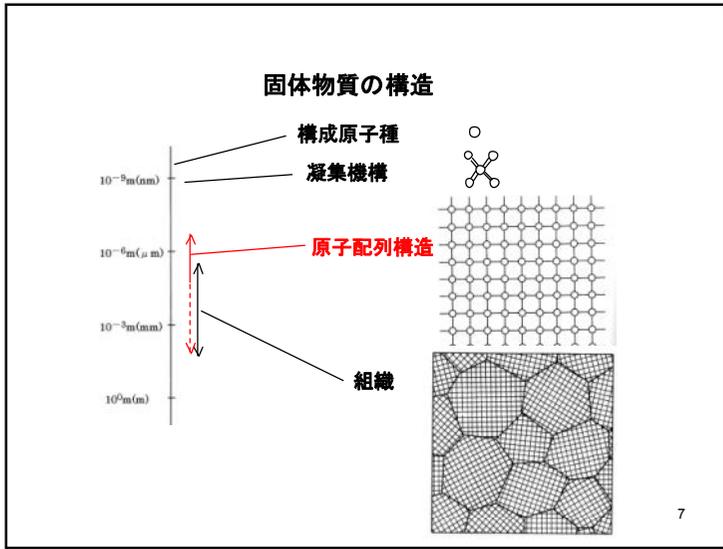


我々が調べたことのある物質はごくわずか



固体物質の物性

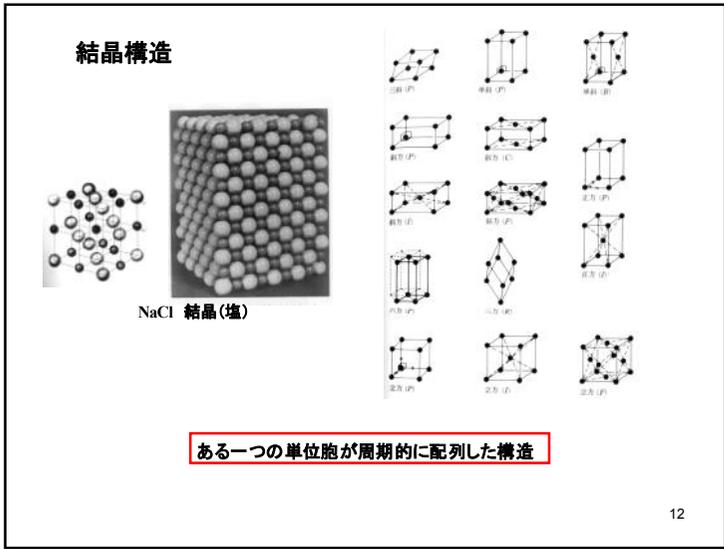
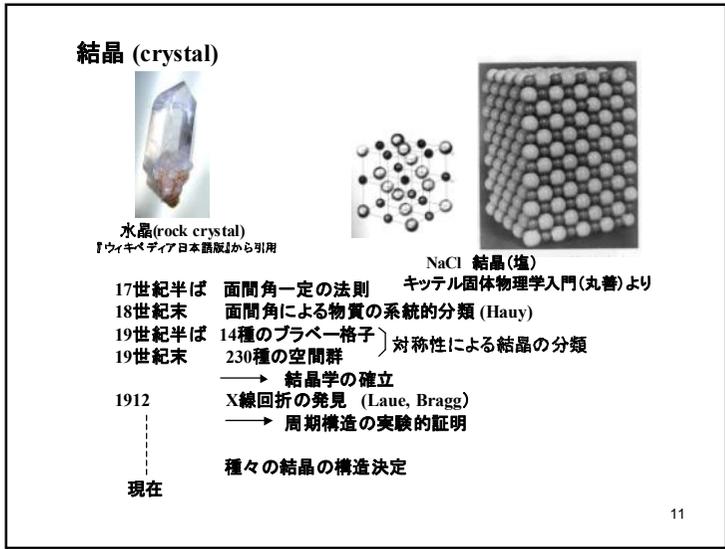
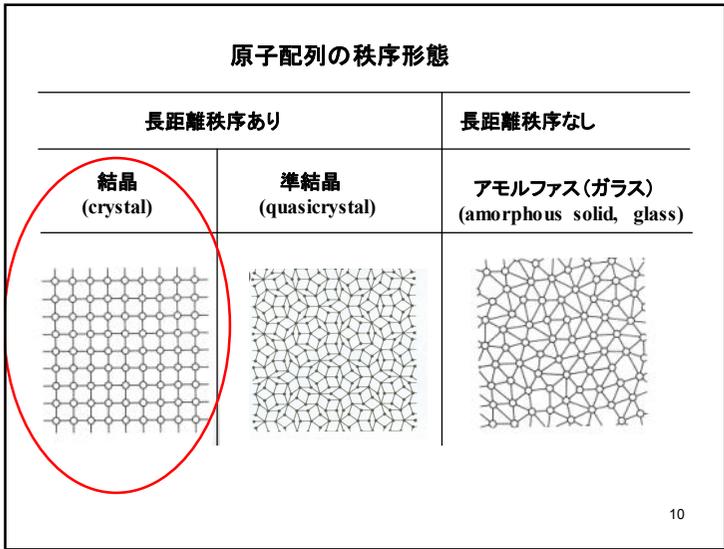
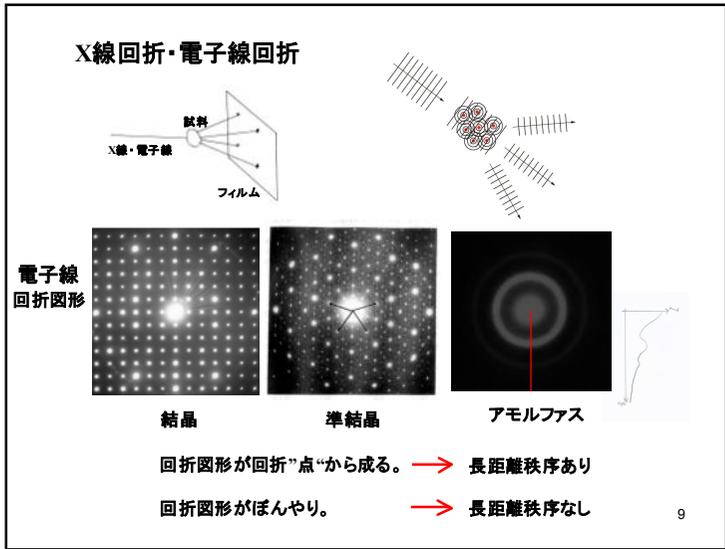
力学物性	弾性 塑性 靱性	強い、硬い、粘い 弱い、軟らかい、脆い、
電気物性	電気伝導性 誘電性 圧電性	電気が通り易い、難い 分極する、しない
光物性	透明性 反射特性 発光特性	光が通る、通らない 色、光沢 光る、光らない
磁性	強磁性 硬磁性 軟磁性	磁石につく、つかない 強い磁石になる、ならない 磁化の on, off の切り替えが速い、遅い



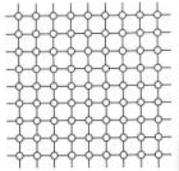
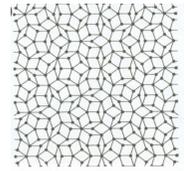
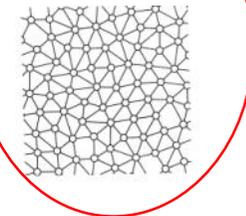
原子配列の秩序形態

長距離秩序あり		長距離秩序なし
結晶 (crystal)	準結晶 (quasicrystal)	アモルファス(ガラス) (amorphous solid, glass)

8



原子配列の秩序形態

長距離秩序あり		長距離秩序なし
結晶 (crystal)	準結晶 (quasicrystal)	アモルファス(ガラス) (amorphous solid, glass)
		

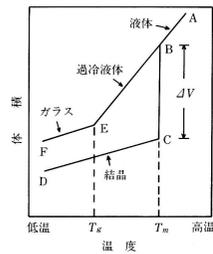
17

固体物質(アモルファス)

- 金属 純金属および合金
鉄(Fe)、銅(Cu)、アルミニウム(Al)、チタン(Ti)、
鋼(Fe-C)、銅合金、アルミニウム合金、チタン合金...
アモルファス金属、金属ガラス
- 半導体 シリコン(Si)、ゲルマニウム(Ge)、ガリウム砒素 (GaAs)...
アモルファスSi、アモルファスGe
- セラミックス 金属酸化物、炭化物、窒化物の絶縁体
アルミナ(Al₂O₃)、石英(SiO₂)、炭化硅素(SiC)...
石英ガラス(SiO₂)、ソーダ石灰ガラス(SiO₂-(Na,Ca))
- 高分子物質 C,H,O等からなる高分子からなる物質
ポリエチレン、ポリ塩化ビニル、ナイロン、
多くのもの

18

ガラスの形成



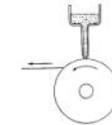
ガラスは「非平衡相」である。

熱力学的に安定な固相は「結晶」(準結晶)である。

19

アモルファス金属・金属ガラス

1960 Au-Si
Pd-Si, La-Au, Fe-B, Fe-P-B, Fe-Si-B...



1980 頃

↑ 臨界冷却速度
>10⁴ K/s

1988 Mg-Ln-M (L=希土類元素、M=Ni,Cu, Zn)
Ln-Al-TM (TM=Fe,Co,Ni)
Zn-Al-TM, Pd-Cu-Ni-P, Ti-Ni-Cu-Sn.....

↓ **バルク金属ガラス**

現在

等方性、均質性

→ **高靱性、高耐食性、高軟磁性**



20

原子配列の秩序形態

長距離秩序あり		長距離秩序なし
結晶 (crystal)	準結晶 (quasicrystal)	アモルファス(ガラス) (amorphous solid, glass)

21

準結晶 (quasicrystal)

電子回折図形

1984 Al-Mn合金中に Shechtmanにより発見された。

- 回折点 → 長距離並進秩序
- 5回対称性 → 非周期構造 (結晶ではない)

22

結晶に許される回転対称性
(1回)、2回、3回、4回、6回
360° 180° 120° 90° 60°

2回

3回

4回

6回

5回?

23

覆された従来の常識

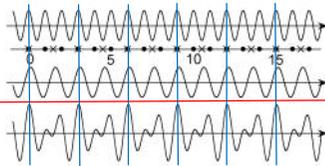
- 回折点は結晶のみに現れる。
- 5回対称性の原子配列秩序をもつ固体は存在しない。
- 固体は、原子配列の秩序性の観点から結晶かアモルファスに分類です。
- 熱力学的に安定な固体は結晶である。

24

周期秩序と準周期秩序

$$f(x) = \cos(2\pi x/a) + \cos(2\pi x/b)$$

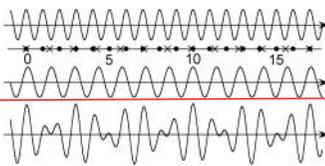
$$b/a = 3/2$$



完全な周期性

$$b/a = \sqrt{2}$$

$$7/5 = 1.4 \quad 17/12 = 1.4166\dots$$



ゆるい周期性=準周期性 →

