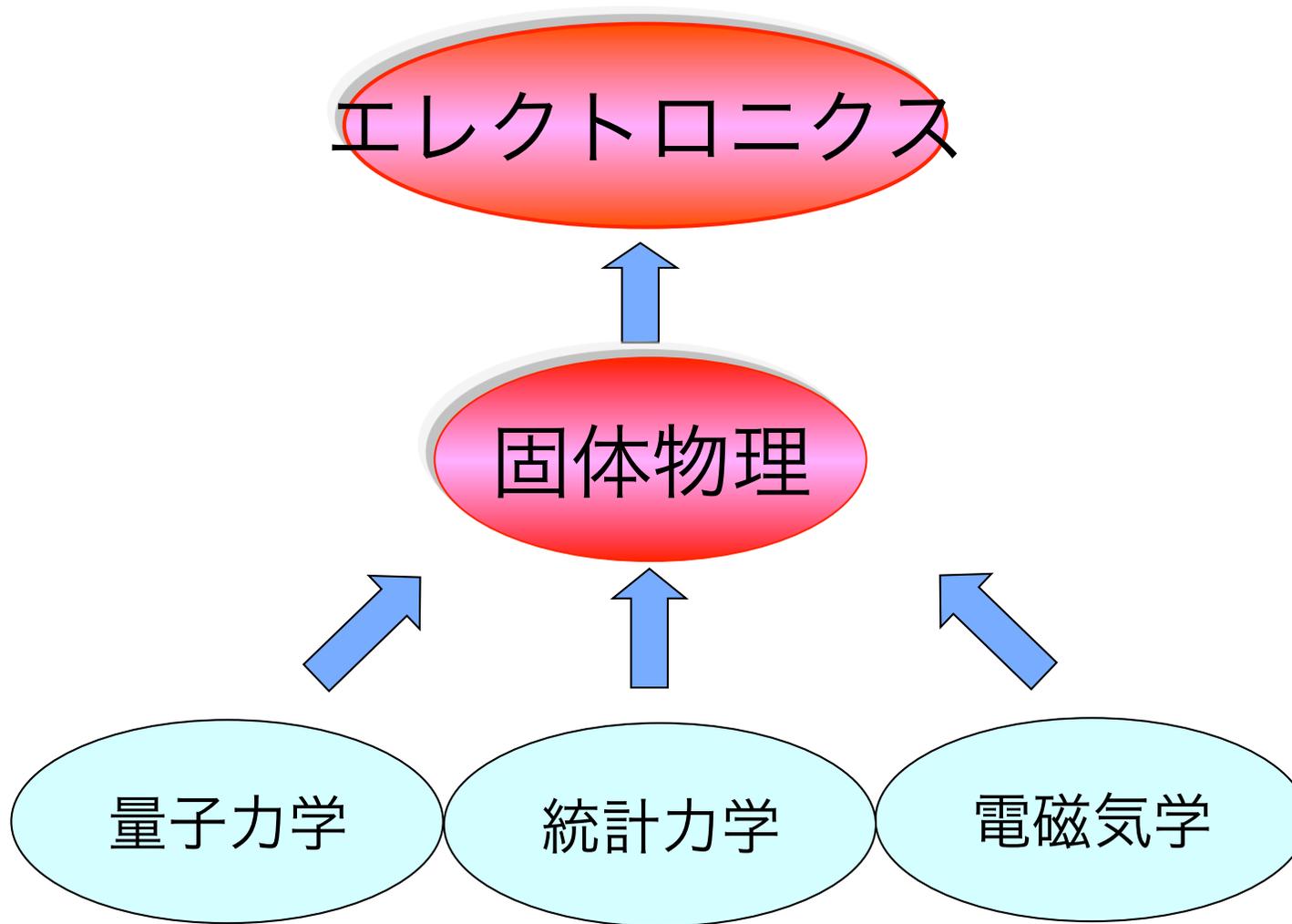


# 固体電子工学

## 第1回 インTRODクシヨソ



特に量子力学の理解が不可欠

# 量子力学

## *Quantum Mechanics*

電子、原子、光、すべてのものは  
粒子と波の両方の性質を持っている

粒子でもない

波でもない

粒子と波の両方の性質を持ったもの

# 光量子

1 個の光 フォトン photon はエネルギー  $h\nu$  を持つ。

$h$ : プランク定数

$\nu$ : 光の振動数

溶鉱炉の鉄の色

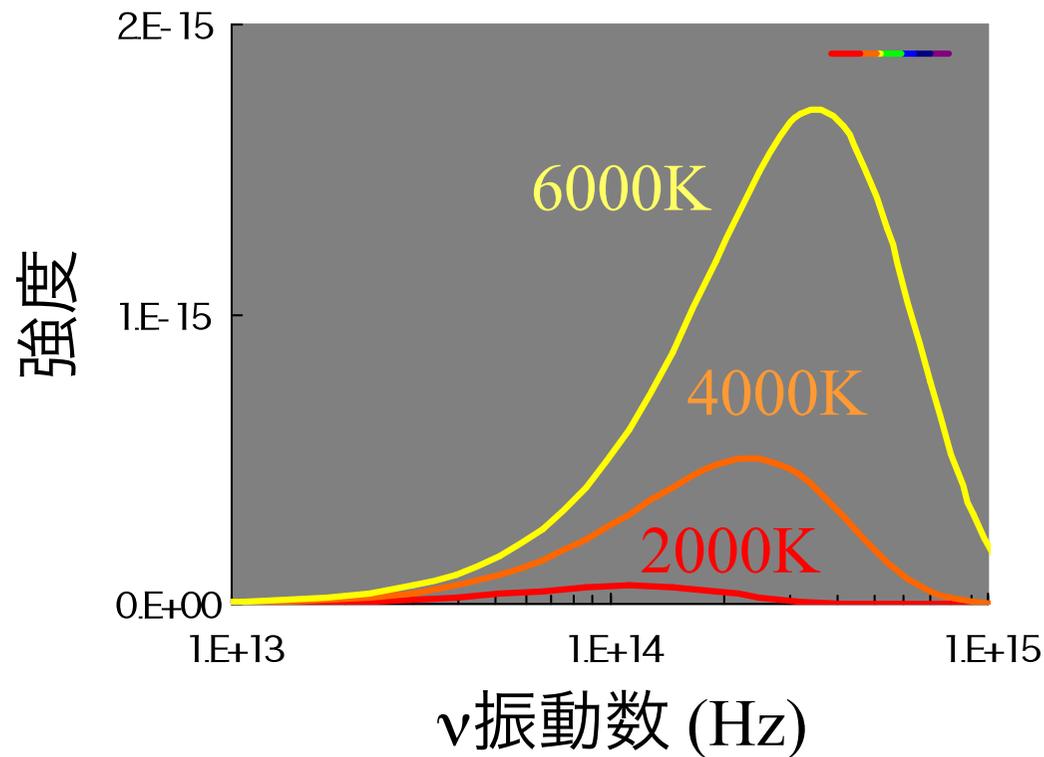


# 単位体積当りの光のスペクトラム (Plankの輻射公式)

$$E_\nu d\nu = \frac{h\nu}{V} \langle N_\nu \rangle D(\nu) d\nu$$
$$= \frac{8\pi\nu^3}{c^3} \frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{k_B T}} - 1} d\nu$$



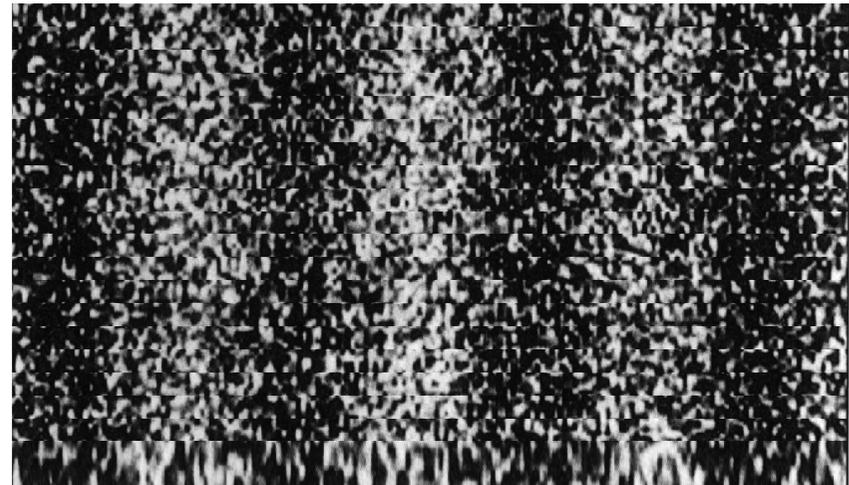
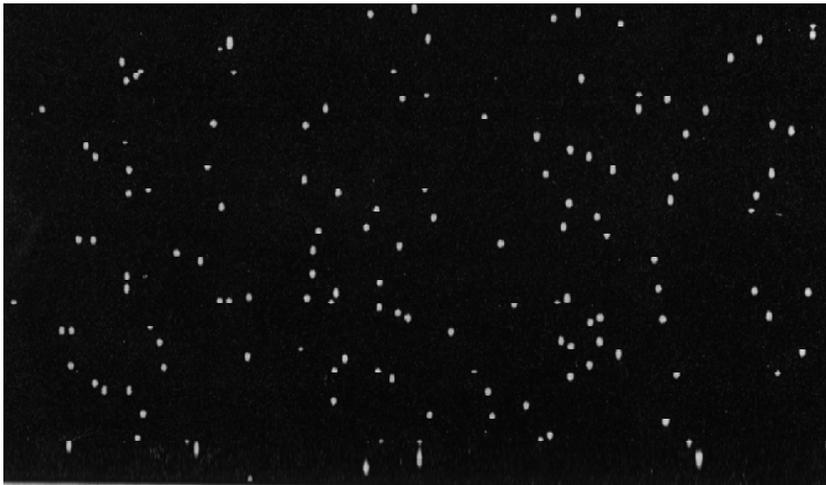
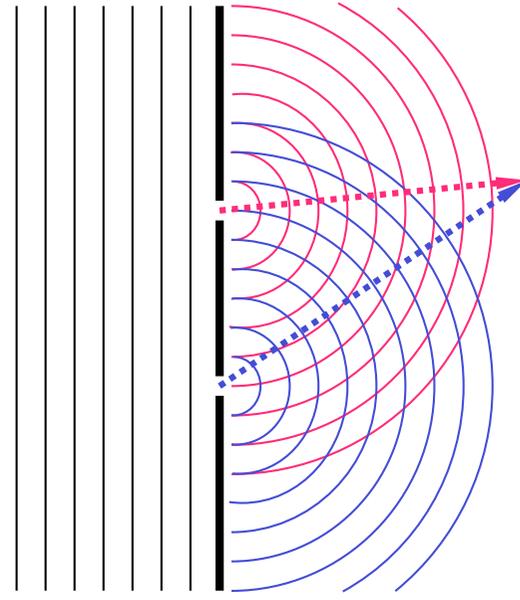
Max Planck  
(1858-1947)



調べてみよう 「色温度」  
どこで使われているだろうか

# 電子波の回析

- 粒子とっていた電子が波の性質も持つ



**The electrons are always detected as particles  
but over time an interference pattern develops.  
( by A Tonomura, Physics World, March 1994 )**

## 量子力学の難しさ

式が概念を超えている

$$[x, p] = i\hbar$$

不確性原理

位置と運動量は同時に確定できない

しかし、上の式はそれ以上のことを表している

## 量子力学の難しさ

直感的に理解しがたい

固有状態の重ね合わせ  $\psi = \sum_i c_i \varphi_i$

$$|\psi|^2 = \text{確率密度}$$

$\varphi_i$  の状態をとる確率が  $|c_i|^2$

例えば、 $\varphi_i$  がエネルギー  $E_i$  の固有関数として、

観測されるエネルギーは  $\bar{E} = \sum_i |c_i|^2 E_i$  ではなく、

$E_1, E_2, \dots$  のどれか1つが確率的に現れる

## 量子力学の難しさ

式が概念を超えている

直感的に理解しがたい

生まれた赤ん坊が、ものとはなにか、私とはなにか、を何年もかけて解かったような気になるように、理屈ではなく慣れるしか方法がない

しかし、ときどき、实在とはなにか、意識とは何か、哲学に戻るように、ときどき、量子力学とは何か振り返って考えてみよう

現在のエレクトロニクスは固体物理から成り立っており、それは量子力学を土台としている。

量子力学が経験的に理解困難でも、現在のエレクトロニクスがその正しさを証明しているとも言える。

## 電気伝導

何故、固体によって異なる電気伝導を示すのだろうか？

## トランジスタ

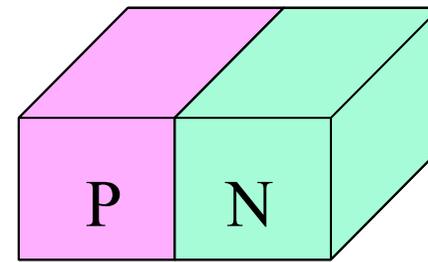
その動作原理は？

## 発光ダイオード

なぜ特定の波長の光がダイオードから出るのだろうか？



## ダイオード



PN接合

P型、N型は何故できるのか？

# 固体物理

化学的に結合した多数の原子系がつくる

①

凝集状態（固相） を扱う学問

②

① 現象にかかわる原子の数が膨大  $\implies$  統計力学

典型的な固体：  $1\text{cm}^3$  あたり  $10^{23}$  個の原子を含む

② 物質の状態には気体（気相）、液体（液相）、固体（固相）があるが固体物理は固相を扱う

## 講義内容

- 第1回 イントロダクション
- 第2回 原子軌道と分子軌道
- 第3回 固体における化学結合
- 第4回 結晶構造
- 第5回 結晶構造と対称性
- 第6回 逆格子と回析
- 第7回 自由電子モデル
- 第8回 格子振動
- 第9回 固体中の電子
- 第10回 半導体
- 第11回 電子の運動と輸送現象
- 第12回 磁場の中の電子

結晶構造

中間試験

固体の性質

期末試験

# PCを使いこなそう

WEBで調べればかなりのことがわかる

フリー・ソフトの活用

本講義に関連したもの

フリー・ソフト 商用ソフト

分子の3次元表示 [MDLChime](#)

グラフを描く [GNUplot](#)

数式処理 [Maxima](#) [Mathematica](#)

- これらは研究者が作ったもので商用ソフト (>10万円) に比べて遜色が無い
- 無料なので手軽に使える
- WEBに情報が溢れている