

半導体工学(2)

シリコン結晶と原子モデル

電子情報デザイン学科 藤野 毅 1

X線回折法

- ブラッグ反射を利用して試料の構造を解析

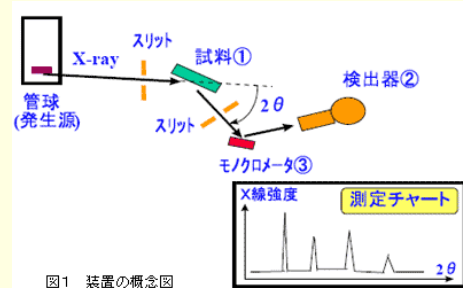


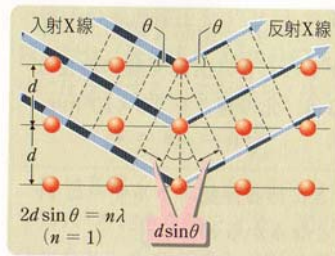
図1 装置の概念図

2

http://www.asahi-kasei.co.jp/kaiseki/equipment/muki_xrd.htmより引用

ブラッグの反射(原理)

- 結晶にX線を照射すると一定方向に反射する



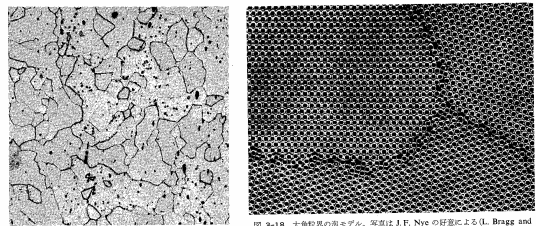
▲図 4-16 格子面による X 線の反射

3

チャート式 新物理II(数研出版)より引用

多結晶と粒界

- LSI中の金属配線(AI)は多結晶



(a) 鉄 (100X)

図 3-18 多結晶の電子顕微鏡。参照は J.F. Nye の好意による (L. Bragg and J.F. Nye, Proceedings of the Royal Society, London, 190, 474, 1947)

4

材料科学1(培風館)より引用

練習問題1(ブラッグの反射)

- 格子面間隔 d [m]の単結晶に対し、結晶面となす角度 θ で波長 3.0×10^{-10} mのX線を照射し、同じ大きさの反射角となる方向で観測する。角度 θ を 0° から次第に大きくしていったところ、 $\theta_1 = 30^\circ$ で最初の強い反射強度を観測した。この反射に寄与した結晶の格子間隔を求めよ。

5

Si結晶

- シリコン(Si)はダイヤモンド格子構造
- 4個の価電子が隣接する4個の原子と共有結合
- 格子定数 $a = 5.43 \text{ \AA}$

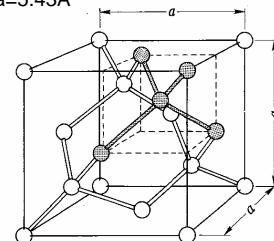


図 1・2 ダイヤモンド格子の模式図

6

シリコンウエハ

- ウエハ: LSIを作成する基板

インゴット:
高純度シリコンから
後述のCZ法などに
より引き上げられた
単結晶

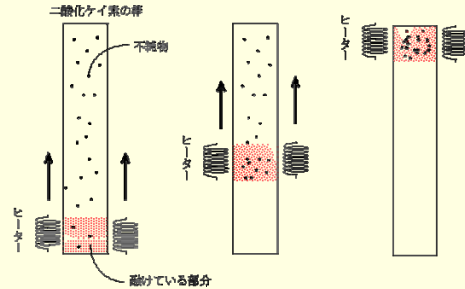
ウエハ:
インゴットをスライス、
研磨して作成される



7

ゾーンメルティング法

- 純度の高いシリコン結晶の生成法

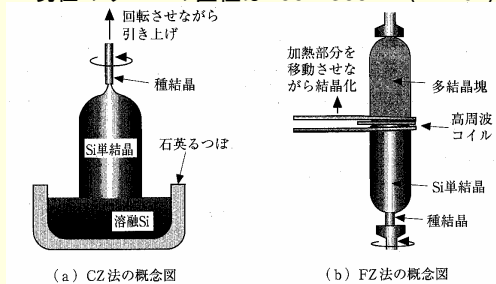


8

<http://www.s-yamaga.jp/nanimono/chikyu/kobutsu-03.htm>より引用

シリコンウエハの作成法

- 種結晶を溶融したシリコンから引き上げていく
- 現在のウエハの直径は200~300mm(12inch)



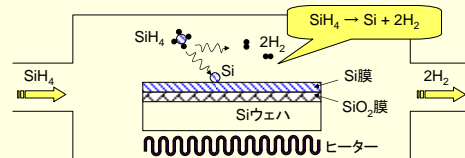
9

半導体デバイス工学(森北出版)より引用

CVD法

- Chemical Vapor Deposition (化学気相成長法)

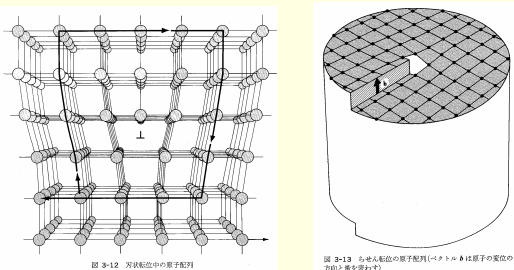
- 原料物質を含むガスに、熱や光によってエネルギーを与えることによって化学反応を生じさせ、基板上に薄膜を形成する手法



10

転位

- 単結晶中の欠陥(刃状転位とらせん転位)

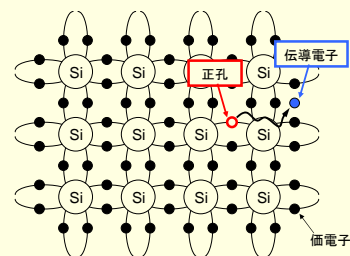


11

材料科学1(培風館)より引用

真性半導体とキャリア

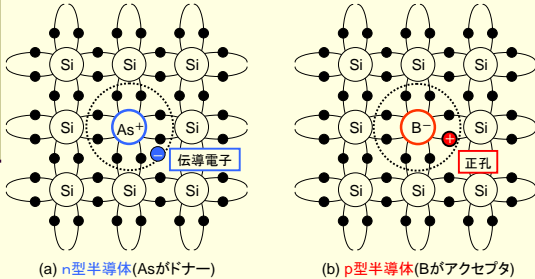
- 熱エネルギーによりごく一部の価電子が励起され、移動できる正孔と伝導電子が同数発生する。
- ただし室温では10¹⁰/cm³程度と数少ないため抵抗率が高い



12

不純物半導体とキャリア

- 第V族不純物(As,P): 自身はドナー(正)となり伝導電子を発生
- 第III族不純物(B): 自身はアクセプタ(負)となり正孔を発生
- 室温ではキャリア数=不純物数⇒抵抗率下がる



13

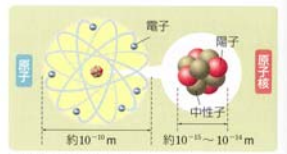
2章に入る前の物理の復習

- 原子模型
- クーロンの法則
- 等速円運動

14

原子模型

- 陽子
 - $e=1.6 \times 10^{-19} \text{C}$
 - $m=1.67 \times 10^{-27} \text{kg}$
- 中性子
 - 中性で質量は陽子とほぼ同じ
- 電子
 - $e=-1.6 \times 10^{-19} \text{C}$
 - $m=9.1 \times 10^{-31} \text{kg}$
- 同位体
 - 原子核内の陽子数が等しく中性子数が異なる元素



▲図 2-1 原子の構造

▼表 2-1 原子の構成例

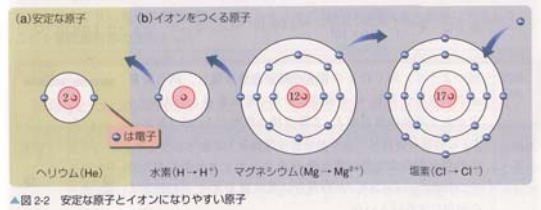
原子	原子記号	陽子数	中性子数	電子数
水素	^1H	1	0	1
ヘリウム	^4He	2	2	2
炭素	^{12}C	6	6	6
マグネシウム	^{24}Mg	12	12	12
塩素	^{35}Cl	17	18	17
ウラン	^{238}U	92	146	92

チャート式 新物理II(数研出版)より引用

15

ノート

原子模型の例



16

チャート式 新物理II(数研出版)より引用

クーロンの法則

- 2つの電荷 q_1, q_2 の間に加わる(引力、斥力)は距離の2乗に反比例

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$$

真空中の誘電率 $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ F/m}$



17

ノート

等速円運動

- 半径 r , 角速度 ω [rad/s]の円運動
- 周期 T [s]

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

- 速さ v [m/s]

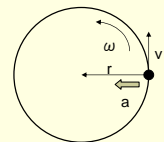
$$v = r\omega$$

- 加速度 a [m/s²]

$$a = r\omega^2 = \frac{v^2}{r}$$

- 物体の質量が m のとき物体が受ける力 F

$$F = ma = mr\omega^2$$



18

ノート

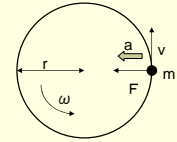
練習問題2(クーロンの法則)

- 真空中0.1mの距離で、正負等量の電荷をもつ2つの小物体間に働く力が0.9Nであった。それぞれの電荷量 $+q, -q$ [C]を求めよ。

19

練習問題3(等速円運動)

- 図のように、質量 $m=0.1\text{kg}$ の小球を、長さ $r=0.5\text{m}$ の伸びない軽い糸の一端に付け、他端を中心として水平面内で周期 $T=0.5\text{s}$ で回転させた。このとき、小球の角速度 ω [rad/s]、速さ v [m/s]、加速度の大きさ a [m/s²]、および糸が引く力の大きさ F [N]を求めよ。



20