

# ま え が き

これまでに出版された材料関係の入門書には、定評のあるものが多い。しかし、定評のある書物は、初学者にとっては理解しにくい部分も多いものである。本書は材料作りに関心のある初学者のための「入門書の入門書」となることを目指した。このため、厳密さを多少犠牲にしても、感覚的に理解できるように説明することを心がけている。

材料を作るためには、まず材料の性質を知らなければならない。そして、その性質を最大限に発揮できる方法で製造する。このような背景から材料科学 (material science) と材料工学 (material engineering) とに分類をすることがある。本書は材料科学の最も基礎に位置付けられるだろう。また、材料を伝統材料 (classical material) と先端材料 (advanced material) とに分類することがある。

先端材料は 20 世紀終盤近くになって人々に大量に使われるようになった材料を意味することが多いが、伝統材料も 20 世紀後半から性能が飛躍的に進歩しているため、伝統材料と先端材料を区別する意味が薄くなっている。しかも、材料の新しい性質の開発、新しい製造方法の考案のための基礎はどちらも共通である。そのため本書は、先端材料と伝統材料を区別していない。また、材料を理解しようとする場合、金属材料、無機材料、および有機材料に分けると理解が容易である。しかし、この 3 種のすべてを記述すると膨大な量になるので、本書では金属材料に主眼を置き、そのうえで、ほかの材料にも応用できるようにすることを心がけた。

2011 年 2 月

編集委員代表 雀部 實  
小林 政信

# 目 次

## 1. 原子と結晶

1.1 原子と分子	1
1.1.1 原子の概念	1
1.1.2 原子の構造	2
1.1.3 周期表	3
1.1.4 電子配置	3
1.1.5 分子の概念	6
1.1.6 分子の構造	8
1.1.7 分子の電子配置	9
1.2 原子の結合	10
1.2.1 イオン結合	11
1.2.2 共有結合	13
1.2.3 金属結合	13
1.3 分子の結合	15
1.3.1 水素結合	15
1.3.2 ファンデルワールス力	16
1.3.3 結合エネルギー	17
1.4 結晶構造	18
1.4.1 結晶の対称要素と点群	18
1.4.2 空間格子と空間群	19
1.4.3 ミラー指数表示	21
1.5 共有結合結晶	23
1.5.1 炭素の結晶	24
1.5.2 Si の結晶	27
1.6 イオン結晶	28
1.6.1 イオン結晶	28

1.6.2	岩塩型 (NaCl 型) 構造	29
1.6.3	塩化セシウム型 (CsCl 型) 構造	30
1.6.4	閃亜鉛鉱型構造	30
1.6.5	ホタル石型構造	31
1.6.6	イオン半径と結晶型の関係	32
1.7	金属結晶	33
1.7.1	面心立方格子	34
1.7.2	体心立方格子	34
1.7.3	六方最密充填構造	35
1.7.4	fcc と hcp の違い	36
1.8	分子結晶	38
1.8.1	水素結合結晶	38
1.8.2	ファンデルワールス結晶	39
1.9	高分子結晶	41
1.9.1	有機化合物の結合	41
1.9.2	高分子化合物	42
1.9.3	モノマーとポリマー	43
1.9.4	ポリマーの結晶	44
	演習問題	44

## 2. 結晶構造と電子のふるまい

2.1	量子論の導入	46
2.1.1	光電効果	46
2.1.2	ハイゼンベルクの不確定性原理	49
2.1.3	シュレディンガー方程式	50
2.1.4	1次元井戸型ポテンシャル	51
2.2	固体の電子状態	55
2.2.1	孤立原子内の電子状態	55
2.2.2	結晶内の電子状態	57
2.3	自由電子	59
2.3.1	1次元の自由電子	59
2.3.2	3次元の自由電子	60
2.3.3	フェルミエネルギー	61

2.4	周期的ポテンシャル中の電子	62
2.4.1	周期的ポテンシャル	62
2.4.2	ブラッグ反射	63
2.4.3	逆格子空間とブリルアンゾーン	65
2.5	エネルギーバンドと電気的性質	66
2.5.1	エネルギーバンド	66
2.5.2	エネルギーバンドと導電性	68
2.6	結晶の構造解析（1）X線回折	69
2.6.1	ブラッグ反射条件式	69
2.6.2	結晶構造因子	72
2.6.3	X線回折の例	73
2.7	結晶の構造解析（2）電子線回折	76
2.7.1	電子線を使うメリット	76
2.7.2	走査型電子顕微鏡（SEM）	77
2.7.3	透過型電子顕微鏡（TEM）	79
2.8	結晶の構造解析（3）走査型プローブ顕微鏡	81
2.8.1	走査型トンネル顕微鏡（STM）	81
2.8.2	原子間力顕微鏡（AFM）	83
2.8.3	その他のプローブ顕微鏡	84
	演習問題	86

### 3. 凝固と状態図

3.1	金属の相変態	87
3.1.1	相変態と自由エネルギー	87
3.1.2	金属の凝固	88
3.2	核生成	89
3.2.1	均質核生成	89
3.2.2	不均一核生成	91
3.3	固体結晶の成長	92
3.4	合金の凝固	94
3.4.1	溶質の分布	94
3.4.2	溶融中の結晶成長と粒構造の形成	95

3.5 鋼の変態	98
3.5.1 同素変態	98
3.5.2 鉄-セメンタイト ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) 系平衡状態図	99
3.5.3 TTT 曲線	100
3.5.4 ベイナイト変態	101
3.6 マルテンサイト	102
3.6.1 マルテンサイト変態と組織	102
3.6.2 マルテンサイト変態に伴う結晶構造の変化	103
3.7 合金状態図	104
3.7.1 状態図の基礎事項	104
3.7.2 1成分系状態図	106
3.7.3 熱分析	106
3.8 2成分系状態図	107
3.8.1 冷却曲線と状態図	108
3.8.2 てこの法則	109
3.9 全率固溶体型の状態図の冷却過程と組織	111
3.10 共晶型の状態図の冷却過程と組織	113
3.11 包晶型の状態図の冷却過程と組織	116
3.12 偏晶型の状態図	117
3.13 共析・包析型の状態図	119
3.13.1 共析・包析型の状態図	119
3.13.2 2成分系状態図の実例	120
演習問題	123

## 4. 固体中の拡散

4.1 原子の拡散とフィックの法則	124
4.1.1 拡散の機構	124
4.1.2 拡散の活性化エネルギー	125
4.1.3 フィックの第1法則と第2法則	127
4.1.4 フィックの第2法則の解とその応用	128
4.2 拡散に及ぼす温度の影響	129
4.3 カーケンドール効果	130

4.4 高速拡散	131
4.5 拡散と相変態	133
演習問題	134

## 5. 材料の力学的性質

5.1 応力とひずみの概念	135
5.1.1 荷重の種類	135
5.1.2 引張試験	136
5.1.3 圧縮試験, せん断およびねじり試験	136
5.2 弾性変形	137
5.2.1 弾性変形における応力とひずみの関係	137
5.2.2 材料の弾性的性質	138
5.3 塑性変形	139
5.3.1 引張特性	139
5.3.2 真応力と真ひずみ	140
5.4 金属の塑性変形	142
5.4.1 金属の結晶構造とすべり系	142
5.4.2 単結晶におけるすべり変形	143
5.4.3 多結晶におけるすべり変形	144
5.4.4 双晶変形	144
5.4.5 塑性変形と組織	146
5.5 塑性変形と転位	146
5.5.1 転位の種類	146
5.5.2 バーガース回路	147
5.5.3 転位のすべり運動と結晶表面のステップ形成	148
5.5.4 部分転位と積層	150
5.5.5 転位の弾性応力場と転位に働く力	152
5.5.6 転位の運動	154
5.5.7 転位の相互作用	155
5.5.8 転位を動かすのに要するせん断応力	156
5.5.9 転位の増殖機構	157
5.5.10 転位の集積	158
5.5.11 延性材料の破壊	159
5.5.12 マクロ的なひずみ	160

5.6	加工硬化とひずみ時効	160
5.6.1	加工硬化	160
5.6.2	冷間加工による機械的性質の変化	161
5.6.3	ひずみ時効	162
5.7	回復と再結晶	163
5.7.1	回復・再結晶の過程	163
5.7.2	結晶粒の成長	165
5.8	材料試験	165
5.8.1	硬さ試験	165
5.8.2	シャルピー衝撃試験	166
5.9	金属の強化機構	169
5.9.1	結晶粒の微細化による強化	169
5.9.2	固溶強化（固溶硬化）	170
5.9.3	分散強化	171
5.9.4	転位の障害物の乗り越え方	171
	演習問題	172
	参考文献	174
	演習問題解答	175
	索引	177

# 1.

## 原子と結晶

### 1.1 原子と分子

#### 1.1.1 原子の概念

「物質」が、きわめて小さく、分割できない粒子「アトム」から成り立つという考えは、紀元前 400 年頃の古代ギリシアの哲学者デモクリトスらに見られる。16 世紀以降、化学や物理学が進歩し、19 世紀初めのイギリスの化学者ドルトンが近代的な原子説を確立した。ドルトンは、物質には単一原子（現在の原子）と複合原子（現在の分子）があると考えた。

原子は物質を構成している基本的な要素であり、現在発見されているものは、人工的に作られる原子も含めて約 110 種類である。個々の原子は大きさが  $10^{-8}$  cm 程度のほぼ球状であり、質量は種類によって異なるが、およそ  $10^{-24}$  ~  $10^{-22}$  g である。元来、原子は分割できない基本粒子と考えられてきたが、18 世紀以降の物理学の進歩により、原子自体も、陽子、中性子、および電子で構成されることがわかった。さらに、現代は陽子や中性子も、各種クォークにより構成されることが明らかとなった。また、原子がいくつか結合して物質固有の性質を表す分子が存在することが明らかになった。すべての物質は、1 種類の原子からなる単体と呼ばれる状態、あるいは何種類かの原子が結び付いた化合物と呼ばれる状態になっている。



### 1.1.2 原子の構造

これ以上分けられない基本的な粒という概念から出た言葉であるが、現在は正の電荷を持つ陽子と電荷を持たない中性子から成り立っている原子核と、その周りにある負の電荷を持つ電子から成り立っていることがわかっている。中性の状態では陽子の数と電子の数は等しく、その数によって原子の性質が決まる。図 1.1 は原子の構造模式図である。

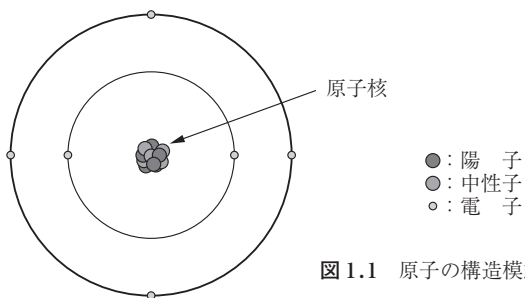
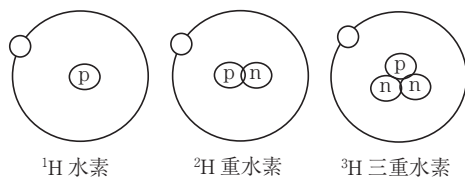
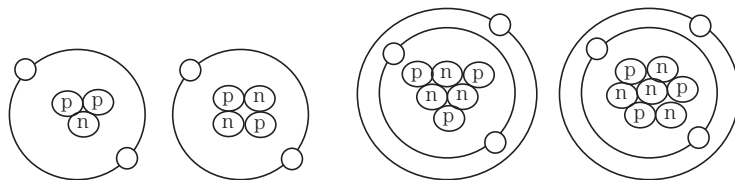


図 1.1 原子の構造模式図

原子番号とは、原子核内の陽子数であり（この数は原子核の周りの電子の数と同じ）、質量数とは原子核内の陽子の個数と中性子の個数の和である。物質



(a) 水素のアイソトープ



(b) ヘリウムのアイソトープ

(c) リチウムのアイソトープ

図 1.2 水素, ヘリウム, リチウムのアイソトープ

の化学的性質は原子番号，すなわち核の周りにおける電子数によって決定付けられ，それぞれ元素名が付けられている。原子番号が同じであっても中性子数が異なるものを**アイソトープ** (isotope) という。アイソトープには，自然界に安定して存在するものと加速器や原子炉で作られる不安定な**放射性アイソトープ** (radio isotope) とがある。図 1.2 に水素，ヘリウム，リチウムのアイソトープを示す。

### 1.1.3 周期表

1860年代，まだ未発見の元素も多かったが，元素を原子量あるいは原子価順に並べると周期的に似た性質が現れることがわかってきた。それが周期表の研究につながり，1869年に有名なメンデレーエフの周期表ができた。表 1.1 は現在の周期表である。周期的な元素の性質の変化は 1.1.4 項に述べる電子配置に関係している。

### 1.1.4 電子配置

原子には原子番号の数だけ電子が存在し，原子番号 1 番の水素には 1 個，2 番のヘリウムには 2 個，3 番のリチウムには 3 個，…というようになっている。

原子核の周りの電子は，電子殻と呼ばれる，ある決められた軌道上を運動している (図 1.3)。真ん中の黒い点が原子核である。いちばん内側から K 殻，L 殻，M 殻，N 殻，…と呼ばれ，K からアルファベット順になっている。最初に見つけられた電子殻が K 殻だったが，まだ内側に殻があるかもしれないと

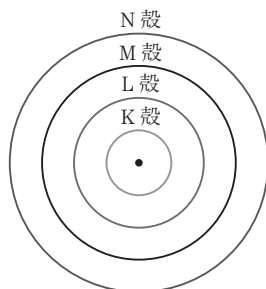


図 1.3 電子殻



考えられたので、新しい殻が見つかったときに名前が付けられるようにとアルファベットの真ん中あたりの K から始めたといわれている（実際には K 殻の内側にはなかった）。

これらの殻には、入ることのできる電子の数が決まっています、K 殻には 2 個、L 殻には 8 個、M 殻には 18 個、N 殻には 32 個となっている。電子は原子核に近い K 核から順に入り、電子が 1 個の水素は K 殻に 1 個電子が入っている。電子が 2 個のヘリウムは K 殻に 2 個電子が入っている。電子が 3 個のリチウムは K 殻に 2 個、L 殻に 1 個入っている（K 殻の定員は 2）。そして電子のエネルギーはどの殻に入っているかで決まっており、内側の殻の電子ほどエネルギーが低い。電子はいちばんエネルギーの低い状態から順番に詰まっていくのである。内側から順に空席がなく電子が詰まっている状態が最も安定な状態である。電子は殻と殻の間には存在せず、したがって、原子内の電子のエネルギーは決められた飛び飛びの値しかとることができない。

じつはこれらの殻はもっと細かな軌道に分かれている。電子のとりうる軌道は主量子数  $n$ 、方位量子数  $l$ 、磁気量子数  $m$  の 3 個の値によって指定される。

主量子数  $n$  は軌道の大きさとエネルギーを決定している。1, 2, 3, … と整数値をとり、これは上述の電子殻 K 殻, L 殻, M 殻…に対応している。

方位量子数  $l$  は軌道の形を決定している。0, 1, 2, …,  $n-1$  の整数値をとる。これは s 軌道, p 軌道, d 軌道, f 軌道…に対応している。

磁気量子数  $m$  は各軌道を決定している。 $-l, -l+1, \dots, 0, \dots, l-1, l$  の整数値をとる。

例えば、K 殻は  $[n=1, l=0, m=0]$  で表される 1 種類の軌道 1s 軌道だけからなる。L 殻は  $[n=2, l=0, m=0]$  で表される 2s 軌道と、 $[n=2, l=1, m=-1, 0, 1]$  で表される 2p 軌道の 2 種類の軌道からなる。M 殻は  $[n=3, l=0, m=0]$  で表される 3s 軌道、 $[n=3, l=1, m=-1, 0, 1]$  で表される 3p 軌道、そして  $[n=3, l=2, m=-2, -1, 0, 1, 2]$  で表される 3d 軌道の 3 種類の軌道からなる。

さらに 2p 軌道は  $-1, 0, 1$  の 3 個の磁気量子数をとりうるが、2p 軌道は

細かく見ると、これらに対応して  $2p_x$ ,  $2p_y$ ,  $2p_z$  の異なる3種類の軌道が存在する。3p, 4p, …のp軌道はすべて3種類の軌道からなる。同様にd軌道はすべて5個の磁気量子数を取り、これらに対応して異なる5種類の軌道が存在し、f軌道はすべて7個の磁気量子数を取り、これらに対応して異なる7種類の軌道が存在する。

そして一つの軌道には、たがいに逆向きのスピンを持つ2個の電子しか入ることができない(パウリの排他原理)。したがって、1s, 2s, 3s, …のs軌道には最大2個の電子、2p, 3p, 4p, …のp軌道には最大6個の電子が、同様に3d, 4d, …のd軌道には最大10個、さらに4fなどのf軌道には最大14個の電子が収容される。

各元素の物理的・化学的な性質は、おもに外側の軌道にどのように電子が充てんされているかで決まる。例えば、希ガスのうちヘリウムとネオンは最外殻の電子がいっぱいになって安定な電子殻(閉殻構造)になっていることで、価電子による結合力がなくなっていることがその性質を決めている。

ナトリウムなどのアルカリ金属は、希ガスに電子を1個追加した配置になっている。電子を1個放出し、希ガスと同じ電子配置になったほうが中性であるよりも安定である。このため1価の陽イオンになりやすい。同様の理由でアルカリ土類金属は2価の陽イオンに、ハロゲンは1価の陰イオンになりやすい。

### 1.1.5 分子の概念

分子とは、1個以上の原子から構成される、電気的に中性な物質である。分子は常温および常圧環境下においては、ヘリウム、ネオン、アルゴンなどの希ガス(18族元素)の場合に1個の原子で分子(単原子分子)を形成する。しかし、多くの場合は同種あるいは異なる元素の原子が複数個集合して分子が形成される(多原子分子)。

別の見方で分子を考えると、分子は物質そのものの性質を持つ最小単位である。例えば、水素原子1個は「水素」という物質ではない。水素原子2個が水素分子を作ると、やっと「水素」という物質の性質を持つ。水という物質は水

# 索 引

<b>【あ】</b>		カーボンナノチューブ	27	禁制帯	58
アイソトープ	3	回転対称性	19	金属結合	10
アインシュタイン	47	回復	163	金属光沢	14
青色半導体レーザ	78	拡散	124		
青熱ぜい(脆)性	163	——の活性化エネルギー	125, 126	<b>【く】</b>	
アモルファス	73	拡散機構	125	クーロン力	56
アルゴン結晶	40	拡散係数	128	くびれ(ネッキング)	140
アレニウスの速度方程式	126	——の温度依存	130	<b>【け】</b>	
		拡散変態	133	系(system)	105
		拡張転位	151	結晶	18
<b>【い】</b>		加工硬化	160	——の粒成長	165
イオン結合	10	化合物	1	結晶構造因子	72
井戸型ポテンシャル	51	硬さ試験	165	結晶粒の微細化	169
		価電子帯	58, 59	結晶粒微細化剤	98
<b>【え】</b>		過冷却	107	原子	1
(エネルギー)ギャップ	58	岩塩型構造	28	原子核	2
衛星(サテライト)ピーク	74	完全転位	150	原子間力	83
				原子間力顕微鏡(AFM)	81
エネルギー単位	58	<b>【き】</b>		原子空孔拡散	125
エネルギーバンド	58	希ガス	6	原子散乱因子	72
塩化セシウム型構造	29	規則-不規則変態	133	原子番号	2
延性	15	ギブスの相律	105		
延性材料の破壊	159	逆応力	159	<b>【こ】</b>	
延性-ぜい性遷移温度	168	逆格子ベクトル	65	交差すべり	152, 158, 172
エンブリオ	89	キュリー点	99	格子拡散	131
		共晶反応	99	格子間拡散	124
<b>【お】</b>		共析反応	99	公称応力	136
応力-ひずみ曲線	139	共析変態	133	公称ひずみ	136
オージェ(AES)	78	鏡像対称性	19	降伏応力の温度依存性	168
オロワンの分散強化機構	171	共有結合	10	降伏現象	140
		極性分子	8	降伏伸び=リユージェース	
<b>【か】</b>		均一核生成	89	伸び	162
カーケンドール効果	130, 131	キンク	142, 154	光電子	46
		禁止帯	58	光量子	47

黒鉛	25			単位胞	18
誤差関数	128			単原子分子	6
コットレル雰囲気	162	水素結合	15	弾性変形	137, 139
コペンハーゲン解釈	50	水素結合	38	単体	1
固溶強化	169	ストレッチャーストレイン			
固溶強化 (固溶硬化)	170		162	<b>【ち】</b>	
混合転位	147	すべり機構	139	柱状晶	96
混成軌道	24	すべり系	142	中性子	2
		すべり帯	144	稠密六方格子	35
<b>【さ】</b>		すべり変形	142, 146	超高压電子顕微鏡	80
再結晶	163			チル層	96
再結晶温度	164	<b>【せ】</b>			
最密充てん	34	ぜい性破壊	168	<b>【つ】</b>	
最密充てん構造	36	成分 (component)	105	粒成長	163
3回対称	19	析出	133		
		析出強化	171	<b>【て】</b>	
<b>【し】</b>		積層欠陥	150, 152	低傾角粒界	153, 160
磁気量子数	5	積層欠陥エネルギー	151	てこの法則あるいは	
軸比	36	絶縁体	59	天びんの法則	110
自己拡散	128	セレーション	162	転位エネルギー	153
仕事関数	46	閃亜鉛鉱型構造	29	転位の運動	154
実格子ベクトル	19	せん断係数	138	転位の自己エネルギー	150
質量数	2	相 (phase)	105	転位の集積	158
シャルピー衝撃試験				転位のすべり運動	148
	165, 166	<b>【そ】</b>		転位の相互作用	155
シャルピー遷移曲線	167	走査型トンネル顕微鏡		転位の増殖機構	157
周期的ポテンシャル	62	(STM)	81	転位の弾性応力場	152
周期表	3	走査型プローブ顕微鏡	81	転位の分解	150
自由電子	14	双晶変形	142, 144, 168	転位密度	160
自由電子モデル	59	相律 (phase rule)	105	転位ループ	152
自由度	105	組成的過冷	95	電界放射型電子銃	77
樹枝状晶 (デンドライト)	93	塑性変形	139	電気陰性度	11
シュミットの法則	144			電子	2
主量子数	5	<b>【た】</b>		電子殻	3
シュレディンガー	50	第1ブリルアンゾーン	65	電子顕微鏡	48
シュレディンガー方程式	51	大傾角粒界	169	電子線	76
上昇運動	154, 171	体心立方格子	34	電子線回折	48
ジョグ	154	体積拡散	131	展性	15
初析セメンタイト	122	ダイヤモンド	24	伝導帯	59
初析フェライト	122	ダイヤモンド型構造	27		
真応力	141	多層膜	73	<b>【と】</b>	
人工周期	73, 74	縦弾性係数	137	ド・プロイ	48
真ひずみ	141	単位格子	18	透過型電子顕微鏡	79

等軸晶	96
同素変態	98, 133
トンネル電流	82
<b>【な】</b>	
ナフタレン C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	40
<b>【に】</b>	
2 回対称	19
二酸化炭素結晶	40
<b>【ね】</b>	
熱活性化過程	124, 168
熱電子銃	77
<b>【は】</b>	
バーガーズ回路	147
バーガースベクトル	147
パーライト (pearlite)	
組織	99
パイエルスポテンシャル	156
ハイゼンベルク	49
—の不確定性原理	49
パイプ拡散	132
パウリの排他原理	6
刃状転位	146
波 数	59
波動関数	53
波動性	48
ハミルトニアン	51
バンド	58
半導体	59
バンドギャップ	58
<b>【ひ】</b>	
ひずみ硬化	160
ひずみ硬化指数	142
ひずみ時効	162
ピッカース硬さ	166
引張試験	136
ヒューム-ロザリー	
(Hume-Rothery)の法則	170

**【ふ】**

ファンデルワールス力	15
フィックの第1法則	127
フィックの第2法則	128
不均一核生成	91
フックの法則	137
不動転位	152
部分転位	150
フラレーン	26
ブラッグ角	70
ブラッグの法則	63
ブラッグ反射条件式	70
ブラベ格子	21
ブランク定数	48
ブランクの部分転位	152
ブランク-リード機構	158
ブランク-リード源	158
ブリネル硬さ	166
ブリルアンゾーン	64
分解せん断応力	143
分解能	76
分散強化	169, 171
分子	6
分子間力	38
<b>【へ】</b>	
閉殻構造	6
平衡分配係数	94
並進対称性	18, 19
ベイナイト変態	101
偏 析	94, 113
<b>【ほ】</b>	
ポアソン比	138
方位量子数	5
方向指数	21
放射性アイソトープ	3
包晶反応	99
ポーア	50
—の量子条件	48
ホタル石型構造	29
ポテンシャル	51

ポリゴン化	164
<b>【ま】</b>	
マクロ的なひずみ	160
マッシュ変態	133
マルテンサイト変態	102
<b>【み】</b>	
ミラー指数	21
<b>【む】</b>	
無拡散変態	133
無極性分子	9
<b>【め】</b>	
メインピーク	74
面指数	21
面心立方格子	34
<b>【や】</b>	
焼なまし	163
ヤング率	137
<b>【ゆ】</b>	
有核組織	113
<b>【よ】</b>	
陽 子	2
<b>【ら】</b>	
らせん転位	146
ラブラシアン	51
<b>【り】</b>	
粒界拡散	132
粒子性	48
理論せん断応力	146
理論せん断力	157
理論臨界せん断応力	144
<b>【れ】</b>	
冷却曲線 (熱分析曲線)	108



レーデブライト (ledeburite) 組織	99	<b>【ろ】</b> ロックウェル硬さ	166	六方最密充てん構造	35
----------------------------	----	------------------------	-----	-----------	----

<b>【B】</b>		<b>【E】</b>		<b>【M】</b>	
bct (body-centered tetragonal) 構造	170	EFM	84	MFM	84
<b>【D】</b>		<b>【F】</b>		<b>【S】</b>	
dangling bond	83	Fe-Fe <sub>3</sub> C 系平衡状態図	99	SEM	76
DAS モデル	83	FETEM	80	<b>【T】</b>	
DVD	78	<b>【H】</b>		TTT 曲線	100
		Hall-Petch 関係	169		

# 一著者略歴一

## 小林 政信 (こばやし まさのぶ)

1975年 東京大学工学部冶金学科卒業  
1977年 東京大学大学院工学系研究科修士課程  
修了(金属材料学専攻)  
1980年 東京大学大学院工学系研究科博士課程  
修了(金属材料学専攻)  
工学博士  
1980年 沖電気工業株式会社勤務  
1997年 千葉工業大学教授  
現在に至る

## 山本 恭永 (やまもと やすひさ)

1968年 千葉工業大学工学部金属工学科卒業  
1970年 千葉工業大学大学院工学研究科修士  
課程修了(金属工学専攻)  
1970年 千葉工業大学助手  
2000年 千葉工業大学講師  
2003年 博士(工学)(長岡技術科学大学)  
2004年 千葉工業大学准教授  
現在に至る

## 為広 博 (ためひろ ひろし)

1970年 九州大学理学部物理学科卒業  
1972年 九州大学大学院工学研究科修士課程  
修了(原子核工学専攻)  
1972年 新日本製鐵株式会社勤務  
1986年 工学博士(九州大学)  
1999年 千葉工業大学教授  
現在に至る

## 基礎 材料学

Introduction to Materials Science

© Masanobu Kobayashi, Yasuhisa Yamamoto, Hiroshi Tamehiro 2011

2011年4月18日 初版第1刷発行

検印省略

著者 小林 政 信  
山本 恭 永  
為 広 博  
発行者 株式会社 コロナ社  
代表者 牛来真也  
印刷所 萩原印刷株式会社

112-0011 東京都文京区千石 4-46-10

発行所 株式会社 コロナ社

CORONA PUBLISHING CO., LTD.

Tokyo Japan

振替 00140-8-14844・電話(03)3941-3131(代)

ホームページ <http://www.coronasha.co.jp>

ISBN 978-4-339-04612-0 (新宅) (製本: 複製本印刷)

Printed in Japan



本書のコピー、スキャン、デジタル化等の  
無断複製・転載は著作権法上での例外を除  
き禁じられております。購入者以外の第三  
者による本書の電子データ化及び電子書籍  
化は、いかなる場合も認めておりません。

落丁・乱丁本はお取替えいたします