

目 次

I. X線結晶学の基礎

第I部を読むにあたって	3
1. X線の性質	5
1.1 X線の発見とその本質	5
1.2 X線の発生法	7
1.3 X線のスペクトル	13
1.4 X線の吸収, X線スペクトルの発生機構	19
1.5 X線の散乱	23
1.6 X線の異常分散	28
2. 結晶の形態と対称	31
2.1 結晶の形態と晶族	31
2.1.1 結晶の形態	31
2.1.2 晶 族	33
2.1.3 晶系と形態	43
2.1.4 結晶の幾何学的記載	50
2.2 空間格子	53
2.2.1 周期的配列	53
2.3 空間群	59
2.3.1 点群と空間格子の組合せ	59
2.3.2 空間群	64
2.4 光による結晶試料の方位決定	72
2.4.1 測角による方位決定	72
2.4.2 偏光顕微鏡による方位決定	74
2.4.3 方位決定の実例	85
3. X線の結晶による回折理論(付, 電子線, 中性子線回折)	93
3.1 結晶の幾何学	93
3.1.1 単位格子と空間格子	93
3.1.2 網面とミラーの指数	94

3.1.3	逆ベクトルと逆格子	97
3.1.4	パラメーターおよび面指数の変換	99
3.1.5	面指数変換の例	100
3.2	結晶によるX線の回折	104
3.2.1	原子によるX線の散乱	104
3.2.2	結晶によるX線の回折とラウエの条件	108
3.2.3	エワルドの反射球とブラッグの反射条件	110
3.2.4	強度の規則性と消滅則	113
3.3	基本的な撮影方法とX線図形の原理	117
3.3.1	粉末法とデバイ・シェラー環	117
3.3.2	繊維構造と繊維写真	118
3.3.3	回転結晶法	121
3.3.4	測角法	123
3.3.5	ラウエ法	130
3.4	回折斑点の強度に及ぼす諸因子	131
3.4.1	積分反射強度	131
3.4.2	吸収因子	133
3.4.3	消衰効果とモザイク構造	134
3.4.4	温度因子	136
3.4.5	多重反射	138
3.4.6	結晶粒子の大きさの影響	140
3.5	フーリエ解析法その他	142
3.5.1	フーリエ解析法	142
3.5.2	パターソンの級数とパターンソン・ハーカーの級数	145
3.5.3	不等式法	147
3.6	気体・液体非晶質固体による回折理論	149
3.6.1	図形の特徴	149
3.6.2	希薄な気体による回折	150
3.6.3	濃厚気体・液体・非晶質固体による回折	153
3.6.4	一般的注意	154
3.7	電子線および中性子線回折	156
3.7.1	電子線および中性子線の波長	156
3.7.2	電子の原子による散乱	158
3.7.3	電子線回折の特徴	161
3.7.4	電子線回折におけるフーリエ解析法	163

3.7.5	散乱断面積	166
3.7.6	中性子の原子による散乱(I)核散乱	167
3.7.7	中性子線の干渉性散乱径	170
3.7.8	中性子の原子による散乱(II)磁気散乱	172
3.7.9	中性子線回折の特徴	176
4.	回折写真の撮影と解釈	181
4.1	回折写真撮影の一般的事項	181
4.1.1	X線回折写真撮影の手順	181
4.1.2	X線カメラ	181
4.1.3	X線カメラのすえ付け	183
4.1.4	対陰極物質の選択と使用X線の純度	183
4.1.5	暗室操作	184
4.2	粉末写真法	185
4.2.1	粉末法カメラの構造と取扱い	185
4.2.2	試料の調製と取付け	187
4.2.3	粉末写真の測り方	189
4.2.4	粉末写真の指数付け(その一、計算による方法)	191
4.2.5	粉末写真の指数付け(その二、図表による方法)	194
4.2.6	粉末法の応用(種々の粉末カメラ)	198
4.3	回転結晶写真法	200
4.3.1	撮影装置とその使い方	200
4.3.2	回転写真の解釈	202
4.4	振動結晶写真法とその解釈	205
4.4.1	撮影装置とその使い方	205
4.4.2	振動写真の指数付け(逆格子を利用する Bernal の方法)	207
4.5	ラウエ写真法	219
4.5.1	撮影装置と使い方	219
4.5.2	ラウエ写真の解釈	220
4.5.3	ラウエ写真法の応用	225
5.	簡単な結晶構造の解析	321
5.1	結晶構造解析の諸段階	231
5.1.1	結晶学的資料の探求	231
5.1.2	単位格子の大きさ、形の決定	232

5.1.3	単位格子中の化学単位の数の決定	233
5.1.4	単位格子の対称, 空間群の決定	234
5.1.5	原子座標値の決定	235
5.1.6	一層すすんだ構造解析法	236
5.2	等軸結晶の解析例	236
5.2.1	食塩の構造解析	237
5.2.2	塩化アンモニウムの結晶構造	240
5.3	正方結晶の解析例	242
5.3.1	ルチルの結晶構造	243
5.3.2	尿素の結晶構造	245
5.4	六方および三方結晶の解析例	250
5.4.1	石墨の結晶構造	250
5.4.2	方解石の結晶構造	254
5.4.3	等軸・正方・六方および三方以外の結晶	256
6.	X線発生装置	275
6.1	X線管の基本型と分類	257
6.2	封入型X線管	258
6.3	開放型X線管	260
6.3.1	ガスイオン管	260
6.3.2	熱陰極(熱電子)管	261
6.4	熱陰極X線管使用上の諸問題	263
6.4.1	陰極の構造と電子焦点	263
6.4.2	対陰極	267
6.5	特殊X線管	269
6.5.1	可動陽極X線管	269
6.5.2	微焦点X線管	273
6.5.3	散開線束X線管	274
6.5.4	多面ターゲット管	275
6.6	電 源	275
6.7	真空技術	277
6.7.1	真空接合	277
6.7.2	排気系とその操作	278
6.8	X線単色器	279
6.8.1	フィルター	279

6.8.2 結晶単色器	280
6.9 X線防護	282
7. 計数管による反射強度の測定	285
7.1 X線ディフракトメーター	285
7.1.1 X線ディフракトメーター	285
7.1.2 ディフракトメーターの構造	285
7.2 ディフракトメーターの操作と補正	287
7.2.1 回折図形に及ぼす諸因子	287
7.2.2 回折図形の山のズレ	289
7.2.3 計数管の誤差	290
7.2.4 レートメーターの誤差	292
7.3 ディフракトメーター使用の最適条件	293
7.3.1 時定数の影響	293
7.3.2 時定数とゴニオメーター送り速度との関係	294
7.3.3 時定数と計録計紙送り速度との関係	296
7.3.4 自動記録計のペン速度	296
7.3.5 レートメーターの型の選択	297
7.3.6 直接係数法その他	300

II. X線結晶学の応用

第II部を読むにあたって	305
1. 金属学への応用(その一)	307
1.1 金属および合金の結晶構造	307
1.1.1 固溶体	307
1.1.2 規則格子	309
1.1.3 中間相および金属間化合物	312
1.1.4 高温相と高温カメラ	317
1.2 変態	321
1.2.1 純金属の変態	321
1.2.2 マルテンサイト変態	323
1.2.3 マルテンサイト変態の機構	326
1.3 合金の時効析出	332

1.3.1	析出の様式	333
1.3.2	析出相の結晶構造と母体結晶との方位関係	338
2.	金属学への応用(その二)	351
2.1	X線による応力測定理論	351
2.1.1	X線による応力測定基礎式	351
2.1.2	種々のX線応力測定法とその吟味	353
2.2	X線による応力測定の実際および考察	356
2.2.1	X線による応力測定の実際	356
2.2.2	測定装置	360
2.2.3	その他の諸問題	362
2.2.4	応用例	365
2.3	冷間加工金属の構造とX線	368
2.3.1	単結晶	368
2.3.2	多結晶体	372
2.4	X線による金属集合組織の決定	380
2.4.1	針金の繊維組織	380
2.4.2	金属板の優越方位	381
2.4.3	その他の方法	382
2.4.4	各種の集合組織	383
2.5	X線による透過試験法	384
2.5.1	透過試験法およびその装置	385
2.5.2	透過試験法における諸問題	386
2.5.3	X線陰影顕微鏡	387
3.	化学への応用	391
3.1	物質の同定(物質分析)	391
3.1.1	Hanawalt法	392
3.1.2	ASTM法	395
3.1.3	ASTM法で物質分析を行なう際の注意	397
3.1.4	同形を利用する同定法	398
3.1.5	その他	400
3.2	特殊な物質の同定	401
3.2.1	粘土鉱物	401
3.2.2	有機化合物	401

3.3 粉末X線回折による同定の際の一般的注意事項	403
3.3.1 地のカブリ (バックグラウンド)	403
3.3.2 回折線の分解能と波長の選択	404
3.3.3 試料の調製	405
3.3.4 試料の形態と検出の精度	405
3.3.5 回折線の強度	406
3.4 固体混合物の定量分析	406
3.4.1 Redmond の方法	406
3.4.2 Clark と Reynolds の方法	406
3.4.3 Gross と Martin の方法	407
3.5 同質多形混合物の定量	408
3.6 物質の同定や定量を化学的問題に応用した例	410
3.7 固相反応に対するX線回折の応用	411
3.7.1 反応の前後にX線図形の変化がない場合	412
3.7.2 反応の最終生成物が簡単に生成する場合	412
3.7.3 反応の途中に中間生成物のできる場合	412
3.7.4 複雑な組成の反応生成物のできる場合	413
3.7.5 反応物や反応生成物の回折線が消えたり再び現われたりする場合	416
3.7.6 反応中に回折線の拡散が起こる場合	416
3.7.7 反応生成物の格子膨張と格子ひずみが起こる場合	417
3.8 固体とガスまたは液体との反応 (造膜反応とペルムトイド反応) に対するX線 回折の応用	419
3.8.1 干渉線の位置と強度が変化しない場合	419
3.8.2 回折線の全部または一部の位置が連続的に移動する場合	419
3.8.3 回折線の位置と強度が不連続的に変化する場合	420
3.8.4 回折図形が完全に変わってしまう場合	421
3.8.5 吸着のために特殊な回折効果が現われる場合	422
3.8.6 混晶とガスまたは液体との反応	423
3.8.7 拡散速度の測定	423
4. 物性論への応用	425
4.1 ま え お き	425
4.2 高温カメラ	426
4.3 低温カメラ	426
4.3.1 ま え が き	426

4.3.2	理想的低温カメラ	427
4.3.3	低温カメラの型とその特徴	428
4.3.4	その他	435
4.4	結晶の膨張	438
4.4.1	まえがき	438
4.4.2	熱膨張のX線による測定法	439
4.5	結晶構造と同位元素効果	446
4.5.1	同位元素効果の意味	446
4.5.2	測定の原理と方法	447
4.5.3	熱膨張と同位元素効果の解釈	450
4.6	秩序・無秩序転移(付:平均構造)	451
4.6.1	秩序・無秩序型の相転移の意味	451
4.6.2	例: Ag_2HgI_4	452
4.6.3	平均構造	457
4.7	有機柔粘性結晶	458
4.7.1	概 観	458
4.7.2	実験上の注意	460
4.7.3	ペンタエリスリトール	460
4.8	結晶内分子回転とX線散漫散乱	467
4.8.1	まえがき	467
4.8.2	X線散漫散乱の撮影法について	468
4.8.3	実例とその解釈	469
4.9	分域構造(混成構造)	475
4.9.1	まえがき	475
4.9.2	リン酸二水素カリウムのX線的研究	476
4.10	強磁性および反強磁性体のX線的研究	485
4.11	格子欠陥とX線	487
5.	結晶の方位と双晶構造	489
5.1	結晶方位の決定	489
5.1.1	ラウエ法と振動法の組合せ写真の方法	489
5.1.2	結晶のある特徴的な方向に対する3軸の方位の決定	490
5.1.3	結晶の1軸を結晶回転軸に一致させる方法	493
5.2	双晶構造	495
5.2.1	大きな双晶の与えるX線回折図形	495

5.2.2	顕微鏡的あるいは超顕微鏡的な集片双晶の与えるX線回折図形	496
5.2.3	構成個体が単位格子の大きさになった集片双晶の与えるX線回折図形	497
6.	鉱物学, 地質学への応用	505
6.1	造岩鉱物の単位格子の精密測定	505
6.1.1	単位格子の測定の目的	505
6.1.2	長さの単位	506
6.1.3	方法と標準物質	506
6.1.4	固溶体の組成と単位格子との関係	508
6.1.5	ざくろ石の研究	510
6.1.6	その他の対称の高い鉱物の研究	511
6.1.7	対称の低い鉱物の研究	512
6.2	X線による結晶相の決定	513
6.2.1	光学的方法とX線的方法	513
6.2.2	一般的な決定法	514
6.2.3	構造差の少ない同質多像の研究	514
6.3	地質学, 古生物学とくに粘土鉱物への応用	516
6.3.1	いわゆる「非晶質鉱物」の問題	516
6.3.2	リン灰石の問題	518
6.3.3	粘土鉱物の問題	519
6.4	粉末法による定量法	531
6.4.1	緒 言	531
6.4.2	理論的考察	532
6.4.3	実験操作	534
7.	高分子物質への応用	537
7.1	固体高分子とX線	537
7.2	微細結晶の単位格子の決定	537
7.2.1	デバイ写真の場合	538
7.2.2	繊維写真の場合	539
7.2.3	二重配向の試料の場合	545
7.3	結晶構造の決定	546
7.3.1	強度測定と構造解析	546
7.3.2	結果の考察	557
7.3.3	温度因子について	558

7.3.4	高分子の結晶解析に対する二、三の注意	560
7.4	格子の乱れと異種構造型	561
7.4.1	ナイロン 66 における二型と格子不整	562
7.4.2	P.V.A. における格子不整	564
7.4.3	ゴムの統計的構造	566
7.5	アイソタクチック、シンジオタクチック、アタクチックポリマー	571
7.5.1	はじめに	571
7.5.2	ポリスチレンの結晶構造	572
7.5.3	1,2ポリブタジエン, P.V.Cl の構造決定	579
7.5.4	アイソタクチック, シンジオタクチック, アタクチックポリマーの定義	583
7.5.5	その他の例	584
7.6	固体高分子の微細組織	585
7.6.1	非晶性高分子	587
7.6.2	微結晶の大きさと形	587
7.6.3	結晶化度	587
7.6.4	配向特性について	598
7.7	セルロース	602
8.	生物学への応用	607
8.1	装置と実験法	607
8.2	植物と X線回折	609
8.2.1	木材組織の X線的研究	610
8.2.2	デンプンの X線的研究	612
8.3	動物と X線回折	617
8.3.1	貝殻の X線的研究	619
8.3.2	筋肉の X線的研究	621
8.3.3	ウイルスの X線的研究	623
9.	電子線の応用	629
9.1	電子線の性質	629
9.1.1	X線との差異	629
9.1.2	電子線の動力学的効果	629
9.1.3	高分解能電子回折装置および電子顕微鏡	631
9.1.4	電子線の屈折	635
9.2	結晶の電子顕微鏡像解釈への応用	635

9.2.1	電子顕微鏡像のコントラスト	635
9.2.2	等傾角の干渉縞	636
9.2.3	二回反射の縞模様(モアレ図形)	640
9.2.4	等厚内部干渉縞	642
9.2.5	その他の縞模様	643
9.2.6	電子顕微鏡像中の物質の確認	643
9.2.7	結晶格子およびディスロケーションの電子顕微鏡像	644
9.3	酸化物研究への応用	647
9.3.1	金属および合金の酸化物	648
9.3.2	煙酸化物	652
9.3.3	鋳物の表面酸化	655
9.4	硫化物・炭化物・粘土・浮遊選鉱の原理の研究, その他への応用	656
9.4.1	硫化物(金属の硫化)	656
9.4.2	炭化物(金属の炭化)	660
9.4.3	粘土鋳物	664
9.4.4	浮遊選鉱の原理	666
9.4.5	感光銀その他	667
9.5	蒸着膜, 電着膜研究への応用	668
9.5.1	下地結晶に対する方位配列	668
9.5.2	双晶構造と1/6斑点および異帯斑点	670
9.5.3	逐次蒸着による蒸着膜の変化	671
9.5.4	電子顕微鏡像による観察	673
9.5.5	電着膜	674
9.5.6	蒸着膜の結晶格子異常	674
9.6	金属学および結晶塑性への応用	675
9.6.1	合金の規則-不規則変態	675
9.6.2	時効性合金の析出	677
9.6.3	蒸着膜による合金の状態図的研究	678
9.6.4	結晶塑性	680
9.6.5	金属の液体-固体転移および拡散	682
9.7	研磨面と再結晶研究への応用	684
9.8	有機薄膜研究への応用	688
9.9	電子回折および電子顕微鏡の特殊試料保持台	692
9.9.1	高温保持台	692
9.9.2	低温保持台	696

9.9.3 空気ガス層中の試料観察のための保持台	698
付 録	713
ベクトル解析 結晶の幾何学的諸量 パラメーターおよび面指数の変換 複素数による合成波の計算およびその例 積分反射強度式の導入	
付 表	739
基本定数 元素の周期律表 万国原子量表 イオン半径 結合半径 原子または原子団の van der Waals 半径 標準格子定数 X線分光学で用いられる分光用結晶の面間隔 固有X線および吸収端の波長とフィルター 質量吸収係数と密度 X線に対する原子散乱因子 $(h^2+k^2+l^2)$, (h^2+k^2) , (h^2+hk+k^2) の数値表 多重度 $(1+\cos^2 2\theta)/(\sin^2 \theta \cos \theta)$ の数値表 $(1+\cos^2 2\theta)/\sin 2\theta$ の数値表 円筒状および球状試料に対する吸収因子 $\sin 2\pi x$, $\cos 2\pi x$ の数値表 二次元空間群 三次元空間群	
索 引	1~26
事項索引 人名索引	