



# 目 次

<b>1. 序 論</b>	<b>三 宅 静 雄</b>
1.1 電 子 の 波 長 .....	1
1.2 電 子 波 の 散 乱 (ボ ル ソ ン 近 似) .....	3
1.2.1 原 子 散 乱 因 子 ... (4) / 1.2.2 構 造 因 子 ... (5)	
1.3 結 晶 の 格 子 構 造 と 電 子 回 折 .....	6
1.3.1 格 子 構 造 と 回 折 条 件 ... (6) / 1.3.2 空 間 格 子 ... (8) /	
1.3.3 逆 格 子 ... (10) / 1.3.4 エ ワ ル ト 球 (反 射 球) ... (11)	
1.4 回 折 強 度 .....	13
1.5 非 弾 性 散 乱 .....	15
1.6 動 力 学 的 回 折 理 論 .....	17

1.6.1	基本方程式…(17)/	1.6.2	境界条件…(19)/	1.6.3	2波近	
	似の解の特徴…(20)/	1.6.4	より一般の回折理論…(23)			
1.7	電子回折像					27
	文献					29
<b>2.</b>	<b>電子回折実験法</b>					
					橋本初次郎	
2.1	電子回折装置 ……………					31
	2.1.1 電子回折装置の基本…(32)/		2.1.2	基準型電子回折装置…(34)		
2.2	高電圧電子線源と電子レンズ ……………					37
	2.2.1 電子銃…(38)/		2.2.2	電子レンズ…(40)/		
	2.2.3	高電圧電				
	源と加速管…(43)					
2.3	各種試料支持台 ……………					46
	2.3.1 標準型試料台…(46)/		2.3.2	高温試料台, 高温ガス反応試料		
	台…(48)/		2.3.3	低温試料台…(51)/		
	2.3.4	気体電子回折用試料台				
	…(54)/		2.3.5	高分解能試料台…(55)		
2.4	回折像観察と記録装置 ……………					58
	2.4.1 カメラ室, 蛍光板…(58)/		2.4.2	蛍光物質…(61)/		
	2.4.3	像増幅法…(65)/	2.4.4	写真記録法…(67)/		
	2.4.5	動的変				
	化記録法…(70)					
2.5	高分解能電子回折 ……………					72
	2.5.1 高分解能電子回折装置の構造…(73)/		2.5.2	各種撮影法…(74)		
2.6	電子顕微鏡による電子回折 ……………					83
	2.6.1 制限視野回折法の原理とその精度…(84)/		2.6.2	原子格子電		
	子顕微鏡像の光回折による方法…(88)/		2.6.3	原子格子電子顕微鏡像		
	の電子回路による回折像作製法(オンライン高速フーリエ変換法)…(94)					
2.7	エネルギーフィルター付電子回折 ……………					99
	2.7.1 磁場プリズム型分析器 (セクター型フィルター)…(100)/					
	2.7.2	レンズの色収差を利用した分析器…(102)/		2.7.3	Boersch 型	
	2.7.4	網目フィルター…(103)/		2.7.4	Lenard 型 (Gegenfeld 型) フィ	

ルター…(105)/	2.7.5	ウィーンフィルター型分析器…(107)/
2.7.6	オメガ型エネルギー分析器…(107)	/2.7.7
	キャストンヘンリー型エネルギー分析器…(110)	

文献	110
----	-----

### 3. 電子回折の応用

小川四郎

3.1	試料の作成	117
3.1.1	透過試料…(118)/	3.1.2
	反射試料…(122)	
3.2	回折模様の解析	123
3.2.1	単結晶回折模様…(123)/	3.2.2
	繊維構造回折模様…(130)/	
3.2.3	多結晶回折模様…(131)/	3.2.4
	暈環回折模様 (ハローパターン)…(132)	
3.3	電子回折に関連した重要な問題	133
3.3.1	格子定数の精密測定…(133)/	3.3.2
	屈折効果…(135)/	
3.3.3	多重反射…(138)/	3.3.4
	回折斑点の伸び…(141)/	
3.3.5	エピタクシー現象…(146)/	3.3.6
	構造因子の決定…(149)	
3.4	電子顕微鏡との併用	152
3.4.1	制限視野回折法とその実例…(153)/	3.4.2
	暗視野法とその実例…(156)	
3.5	電子回折による構造研究	160
3.5.1	各種の化合物の構造…(160)/	3.5.2
	蒸着膜, 電着膜の構造…(162)/	3.5.3
	有機薄膜の構造…(163)/	3.5.4
	合金における相転移…(164)/	3.5.5
	合金における時効析出…(167)	3.5.6
	結晶塑性…(168)/	3.5.7
	合金状態図…(169)/	3.5.8
	超高真空高速電子反射回折による表面構造の研究…(170)	
3.6	電子回折による構造解析	172
3.6.1	微結晶質および非晶質の構造…(172)/	3.6.2
	氷の構造…(178)/	3.6.3
	TiO の構造…(178)/	3.6.4
	規則格子合金の逆位相領域…(181)/	3.6.5
	長周期規則格子合金…(186)	

文献 .....	197
----------	-----

#### 4. 気体分子の構造解析

飯島孝夫・村田好正・朽津耕三

4.1 電子回折による気体分子の構造決定 .....	205
4.1.1 気体分子による電子回折強度...(205)/	
4.1.2 構造決定用の回折装置...(207)/	
4.1.3 スケール因子の決定...(212)/	
4.1.4 写真測光法による回折強度の測定...(215)/	
4.1.5 回折強度の解析...(218)/	
4.1.6 実験誤差...(222)/	
4.1.7 決定された分子構造...(223)	
4.2 計数法による散乱強度の測定と高速電子衝撃分光 .....	224
4.2.1 計数法を用いる強度測定...(224)/	
4.2.2 全散乱強度の測定...(227)/	
4.2.3 高分解能エネルギー損失スペクトル...(228)/	
4.2.4 広散乱角のエネルギー損失スペクトル...(229)	
文献 .....	232

#### 5. RHEED, LEED, RHEED 顕微法

早川和延

5.1 はじめに .....	237
5.2 RHEED と LEED の相違点と共通点 .....	238
5.3 電子線のエネルギーとド・ブロイ波長 .....	241
5.4 RHEED .....	241
5.4.1 回折条件とは...(241)/	
5.4.2 RHEED 像の概観...(241)/	
5.4.3 表面波共鳴...(245)	
5.5 RHEED 像のエワルト構成による解析 .....	246
5.5.1 逆格子...(246)/	
5.5.2 エワルト構成...(247)/	
5.5.3 境界条件および真空・結晶内のエワルト構成...(250)/	
5.5.4 菊池パターンの作図法...(251)/	
5.5.5 菊池パターンによる回折条件の解析...(252)/	
5.5.6 回折斑点の強度の振動現象...(256)/	
5.5.7 温度散漫散乱の現れる位置...(257)/	
5.5.8 結晶表面に平行な菊池線の強度反転...(258)/	
5.5.9 回折円弧...(258)	

5.6	LEED .....	259
5.6.1	結晶外・内の電子線のド・ブローイ波長…(259)/	
5.6.2	LEED での回折条件…(259)/	
5.6.3	LEED 像の解析の基本…(260)/	
5.6.4	LEED で何が見えるか…(260)/	
5.6.5	LEED 像の現れ方と読み取り方…(262)/	
5.6.6	エワルト構成…(265)/	
5.6.7	LEED における表面波共鳴効果…(266)	
5.7	LEED 像と RHEED 像の見かたの比較 .....	267
5.8	低エネルギー電子回折像の解析法 .....	268
5.8.1	回折強度測定法…(268)/	
5.8.2	反射強度曲線と回折像の比較…(270)/	
5.8.3	表面波共鳴条件の解析…(270)	
5.9	電子スピんに依存した LEED 像 .....	273
5.9.1	電子線のスピン偏極とスピン分析…(273)/	
5.9.2	LEED 回折線のスピン偏極…(276)/	
5.9.3	反強磁性酸化ニッケルからの交換回折…(278)/	
5.9.4	強磁性ニッケルによる PLEED…(280)	
5.10	RHEED 顕微法 .....	282
5.10.1	RHEED 投射型顕微法…(282)/	
5.10.2	RHEED 走査型顕微法…(283)/	
5.10.3	MBE 膜の成長過程に関する観察…(284)	
5.11	おわりに .....	286
	文献 .....	287

## 6. オージェ電子分光法

早川 和延・川瀬 進

6.1	はじめに .....	291
6.2	オージェ電子とは .....	292
6.3	表面の元素分析法として使用し得るわけ .....	293
6.4	オージェ電子分光装置 .....	295
6.5	電子エネルギー分析器 .....	296
6.5.1	CMA 型電子エネルギー分析器…(297)/	
6.5.2	阻止電位型エネルギー分析器…(298)	
6.6	オージェ電子エネルギー分光法 .....	299

6.6.1	微分スペクトル $dN(E)/dE$ 測定系…(300)/	6.6.2	$N(E)$ スペクトルの測定法…(301)/
6.6.3	$dN(E)/dE, N(E)$ スペクトルの測定例…(301)/	6.6.4	マイクロアナリシス法とその応用例…(303)
6.7	実用試料に関するデータ ……………	305	
6.7.1	半導体メモリ素子の耐電圧不良の分析…(305)/	6.7.2	多層膜の界面の測定とイオンエネルギーの影響…(307)
6.8	定量化に向けての考察 ……………	308	
6.8.1	イオンの空間分布…(309)/	6.8.2	オージェ電子の脱出深さ…(310)/
6.8.3	表面分析における国際協力…(310)		
6.9	AES データブックの特徴比較……………	311	
	文献 ……………	312	

## 7. 電子線のエネルギー分析

藤本文範

7.1	はじめに……………	315	
7.2	固体中での電子のエネルギー損失の理論……………	316	
7.2.1	体積エネルギー損失…(316)/	7.2.2	表面エネルギー損失…(318)/
7.2.3	自由電子のプラズマ振動…(319)/	7.2.4	表面プラズマ振動…(320)/
7.2.5	束縛電子…(322)/	7.2.6	多重エネルギー損失…(322)/
7.2.7	電子線回折と非弾性散乱…(323)		
7.3	実験方法……………	324	
7.3.1	電子線源のエネルギー分布…(324)/	7.3.2	Gegenfeld 型分析器…(325)/
7.3.3	Möllenstedt 型分析器…(326)/	7.3.4	フィルターレンズ型分析器…(328)/
7.3.5	反射型 (Castaing-Henry 型) 分析器…(329)/	7.3.6	ウィーンフィルター…(329)/
7.3.7	磁場偏向型分析器…(330)/	7.3.8	磁場レンズを利用した分析器…(331)/
7.3.9	磁場型円筒レンズ分析器…(332)/	7.3.10	磁場反射型 (オメガ型) 分析器 (332)/
7.3.11	127° 円筒静電型分析器…(333)/	7.3.12	180° 球形静電型分析器…(334)/
7.3.13	高		

分解能エネルギー分析器…(334)

7.4	実験結果	335
7.4.1	体積プラズマ振動…(335)/	
7.4.2	表面プラズマ振動…(339)/	
7.4.3	Cu, Ag, Au のエネルギー損失…(342)/	
7.4.4	合金のエネルギー損失…(344)/	
7.4.5	層状結晶のエネルギー損失…(344)/	
7.4.6	バンド間遷移によるエネルギー損失…(345)/	
7.4.7	チェレンコフ放射に伴うエネルギー損失…(347)/	
7.4.8	内殻励起によるエネルギー損失…(348)/	
7.4.9	格子の熱振動によるエネルギー損失…(351)	
	文献	352

## 8. 光電子分光

黒田 晴雄・太田 俊明

8.1	はじめに	357
8.2	光電子放出現象	358
8.2.1	気体原子分子の光電子放出過程…(360)/	
8.2.2	固体の光電子放出過程…(362)	
8.3	測定装置	364
8.3.1	装置の構成…(364)/	
8.3.2	励起光源…(364)/	
8.3.3	電子分光器…(372)	
8.3.4	検出系…(377)/	
8.3.5	データ処理…(380)/	
8.3.6	排気系…(381)	
8.4	実験方法	383
8.4.1	気体試料の測定…(383)/	
8.4.2	固体試料の測定…(385)/	
8.4.3	液体試料の測定…(389)/	
8.4.4	光電子角度依存性の測定…(391)/	
8.4.5	励起光エネルギー可変光電子スペクトル…(395)/	
8.4.6	スピン偏極光電子分光…(398)/	
8.4.7	光電子・光イオン同時計数分光法…(400)	
8.5	光電子スペクトルの解釈	401
8.5.1	結合エネルギー…(401)/	
8.5.2	スペクトル強度…(403)/	
8.5.3	スペクトルの線幅…(406)/	
8.5.4	光電子スペクトルに現れ	



るいろいろなピーク…(406)

文 献 …………… 413

## 9. 多波問題の解法

川 村 隆 明

9.1 多波問題の生じるわけ …………… 422

9.1.1 高速電子回折の場合…(422)/ 9.1.2 低速電子回折の場合…  
(423)

9.2 ベーテの動力的回折理論による方法 …………… 424

9.2.1 ベーテの動力的回折理論…(424)/ 9.2.2 境界条件：透過  
型電子回折の場合…(428)/ 9.2.3 反射電子回折の場合…(431)

9.3 多重散乱法 …………… 434

9.3.1 原子内での多重散乱…(436)/ 9.3.2 層内での多重散乱…  
(438)/ 9.3.3 層間の多重散乱…(445)/ 9.3.4 ベーテの方法との  
関係…(451)

9.4 Cowley-Moodie の方法…………… 451

文 献 …………… 457

## 10. 構造振幅の精密測定

渡 辺 伝 次 郎

10.1 はじめに …………… 459

10.2 臨界電圧法 …………… 461

10.2.1 原理…(461)/ 10.2.2 測定法と精度…(465)/ 10.2.3  
構造振幅の測定結果…(468)

10.3 菊池線交差法 …………… 470

10.4 収束電子回折法 …………… 476

10.5 Si の測定結果 …………… 478

文 献 …………… 480

## 11. 収束電子回折法による結晶点群および空間群の決定

田中通義

11.1	はじめに .....	483
11.2	歴史的背景 .....	484
11.3	X線回折法と収束電子回折法 .....	485
11.4	結晶点群の決定法 .....	486
	11.4.1 試料結晶の対称要素と回折群...(486)/	
	11.4.2 3次元対称要素の検出...(487)/	
	11.4.3 2次元対称要素の検出...(491)/	
	11.4.4 点群決定法...(492)/	
	11.4.5 投影回折群...(499)/	
	11.4.6 多波対称励起による点群決定法...(500)/	
	11.4.7 例題...(511)	
11.5	空間群の決定法 .....	517
	11.5.1 動力学的消滅則(1)...(517)/	
	11.5.2 動力学的消滅則(2)...(520)	
	文献 .....	527
	補追 .....	529

## 付録

1.	基本定数 .....	(川村 隆明) 531
2.	電子のエネルギー, 波長, 波数の表 .....	(川村 隆明) 533
3.	元素のおもなオージェピークエネルギーとオージェ遷移名 .....	(川瀬 進・早川 和延) 546
4.	電子の結合エネルギー .....	(黒田 晴雄・太田 俊明) 549

索引 .....	553
----------	-----