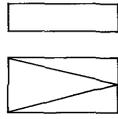
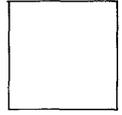


第 I 篇



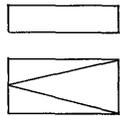
放射光の基礎



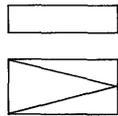
■ 第 1 章 序 論	〔高良和武〕	13	
1. 光源の進歩	13	2. 放射光と物質との相互作用とその利用	15
■ 第 2 章 光 源		21	
第 1 節 放射光の原理と発生	〔菊田惺志〕	21	
1. 放射光の登場	21	—あるいは放射光子数	27
2. 放射光の特性	21	4.3 偏 光	28
3. 放射の原理	22	4.4 放射パワーの角分布	28
3.1 角分布	22	4.5 スペクトル分布	29
3.2 スペクトル分布	24	4.6 全放射パワーと全放射光子数	31
3.3 偏光性	25	5. 実際の光源のブライトネスとブリリアン	
3.4 コヒーレンス	26	ス	32
4. 放射光の特性を示す表式	27	6. 光源としての電子ストレージリング	32
4.1 ラーモアの式	27	7. 挿入型光源	33
4.2 波長と角度の関数としての放射パワ		8. 放射光の将来	34
第 2 節 加速器		35	
● I 入射器	〔浅見 明〕	35	
1. リニアック	35	1.5 制 御	40
1.1 原 理	35	2. そのほかの加速器	41
1.2 入射部	36	2.1 マイクロトロン	41
1.3 加速管部	37	2.2 シンクロトロン	41
1.4 RF 源	39		
● II 電子貯蔵リング	〔宮原義一／大熊春夫〕	43	
1. 磁石系	43	2. 高周波加速系	47
1.1 偏向磁石と四極磁石	43	3. 真空系	48
1.2 ラティスと電子軌道	44	4. ビーム入射	49
1.3 放射減衰と量子励起	45	5. 小型リング	50
1.4 高輝度リング	46		
第 3 節 挿入光源	〔北村英男〕	52	
1. 挿入光源の原理	52	2.1 実効的な挿入光源のスペクトル	55
1.1 スペクトルの一般解	52	2.2 パワー密度	57
1.2 軸上のスペクトル	53	2.3 加速器への影響	58
1.3 コヒーレンス	54	3. 円偏光光源	59
1.4 FLUX	55	4. 次期放射光計画における挿入光源のスペ	
1.5 全放射パワー	55	クトル	60
2. 加速器と挿入光源	55	5. おわりに	60
第 4 節 自由電子レーザー	〔平井康晴〕	65	
1. 自由電子レーザーの構成	65	1.1 相対論的電子の利用	65

1.2 基本的な構成	66	3. 内外の状況と応用	76
1.3 構成と発振波長	66	3.1 通常のレーザとの比較	76
2. 自由電子レーザの原理	67	3.2 自由電子レーザの研究状況	77
2.1 量子論的考え方	68	3.3 応用	79
2.2 古典論的考え方	70		
第5節 ビームライン先端部			[渡辺 誠] 81
1. 先端部	81	2.2 赤外・遠赤外ビームライン	83
2. 先端部以降の小論	82	2.3 X線ビームライン	83
2.1 真空紫外ビームライン	82		
第6節 ビームライン			[佐藤能雅/佐藤 繁] 85
1. ビームライン	86	1.4 放射線の防御	90
1.1 基幹部ビームライン	86	1.5 ビームラインの開閉と制御システム	91
1.2 分岐部ビームライン	87	2. X線ビームラインBL-14の構成	94
1.3 ベリリウム窓	89		
■第3章 光学系(素子+システム)			99
第1節 VUVおよび軟X線の光学系			[宮原恒昱] 99
1. 構成の基本	99	2.1 エミッタンスとアクセプタンス	100
1.1 超高真空系	99	2.2 放射光のエミッタンス	101
1.2 ミラー類	99	2.3 分光器のアクセプタンス	102
1.3 分光素子	100	2.4 エミッタンスとアクセプタンスの整合	103
2. 光学的整合性	100		
第2節 硬X線			[松下 正] 104
1. DuMondの図形と位相空間光学の方法	104	光学の方法の結合	111
2. 位置-角度空間での表現	106	3.2 結晶モノクロメータ	112
2.1 シンクロトロン放射光源	106	3.3 位置(x あるいは y)-角度(x' あるいは y')平面への射影	113
2.2 結晶モノクロメータ	107	4. 複数の光学要素を用いた光学系の性能の見積り	114
3. 位置-角度-波長空間の導入	111		
3.1 DuMondの図形の方法と位相空間			
■第4章 検出装置			117
第1節 VUV・軟X線の検出器			[宮原恒昱] 117
1. 固体の光電効果を利用したもの	117	3. 気体の光電効果を利用したもの	119
1.1 光電流直読型	117	3.1 電流を直読するもの	119
1.2 光電子増倍管	117	3.2 計数型のもの	119
2. 二次検出器	118		
第2節 X線			[長谷川賢一] 120
1. パルス計数の可能性	120	4. 積分型位置敏感検出器	122
2. 電流検出方式	121	5. パルス型位置敏感検出器	123
3. 積分方式と検出量子効率	121		
■第5章 計算機利用			[柴田進吉] 125
1. 放射光用加速器の運転制御システム	125	1.4 システムの構成	126
1.1 目的	125	1.5 計算機と機器のインタフェース	127
1.2 制御対象としての加速器	125	1.6 コンソール	127
1.3 制御システムに要求される機能	125	2. 実験ステーションにおける計算機利用	132

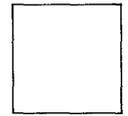
2.1 装置制御系	132	3.4 CAMAC	139
2.2 データの収集, 処理	132	3.5 FASTBUS	141
2.3 データ解析	135	3.6 VME バス	145
2.4 機器インタフェースとネットワーク ..	135	4. ネットワーク	149
3. 計測機器とのインタフェース	135	4.1 開放型システム間相互接続 (OSI: Open System Interconnect)	149
3.1 RS 232 C (JIS C-6360, 6361, 1971年)	137	4.2 CSMA/CD方式 (IEEE 802.3 規格)	151
3.2 セントロニクス規格 (8ビット並列 転送)	137	4.3 トークン方式 (IEEE 802.4規格) ..	152
3.3 GPIB (IEEE 488 規格)	138		



第Ⅱ篇



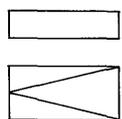
放射光の利用技術



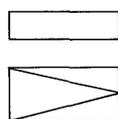
■第1章 材料評価技術(I)物質の構造	157
第1節 構造解析	[大隅一政] ... 157
1. 異常分散の利用	157
1.1 空間群, 絶対構造の決定	158
1.2 重原子法	158
1.3 重原子同型置換法	159
1.4 隣接原子番号をもつ原子の識別	159
2. 放射光X線の大強度の利用	160
2.1 測定精度の向上	160
2.2 X線損傷の軽減	161
2.3 極微小単結晶の構造解析	161
3. 粉末X線回折法	161
3.1 リートフェルト (Rietveld) 法	162
3.2 プロファイルフィッティング法	162
3.3 放射光X線による粉末回折実験	162
第2節 超精密測定	[石川哲也] ... 164
1. 精密X線回折実験とは?	164
2. 実験装置の概要	165
3. 実際の実験の実施例	167
3.1 調整および測定の手順	167
3.2 データ処理	169
第3節 X線干渉計	[中山 貫] ... 171
1. X線干渉計の種類	171
2. ラウエケースの干渉計	172
3. 干渉計の加工	172
4. 干渉計の固定	173
5. 温度上昇	173
6. X線干渉計の応用	173
6.1 原子散乱因子の異常分散項の測定	173
6.2 平行ばね内蔵X線干渉計の利用	174
6.3 位相板を用いる方法	174
7. 形状測定と位相差顕微法	174
第4節 X線小角散乱	[雨宮慶幸] ... 177
1. 小角散乱用X線光学系	177
2. X線検出器	180
3. 時分割X線計測システム	181
第5節 散漫散乱	[原田仁平] ... 184
1. 構造の乱れと散漫散乱	184
2. 実験装置と測定法	185
3. 2~3の研究例	188
第6節 局所構造解析	[大柳宏之] ... 190
1. EXAFS の原理	190
2. EXAFS の実験法	191
2.1 光源	191
2.2 モノクロメーター	193
2.3 検出器と測定系	194
2.4 実験法	195
3. 特殊な測定法	196
3.1 蛍光EXAFS	196
3.2 表面敏感なEXAFS測定法	196
3.3 時間分解EXAFS測定法	199

4. 今後の展望	200		
第7節 極限環境における構造解析	202		
● I 強磁場		[中島哲夫] ..	202
1. 磁界の発生	202	3. 磁場による障害効果	210
2. 磁場による組織の配向効果	205	4. ウッド・エレット・アングル効果	211
● II 超高圧			[下村 理] ..
1. キュービック型装置	214	2.4 相転移の動的観察	220
1.1 装置の概要	214	2.5 相境界の精密決定	220
1.2 試料構成	215	2.6 EXAFS	221
1.3 光学系	217	2.7 粘性測定	221
2. MAX80での実験例	218	3. ダイヤモンドアンビルセル	222
2.1 在来線源との比較	218	3.1 メガバール領域での測定	222
2.2 高エネルギー線源の利用	219	3.2 イメージングプレートとの組合せ	222
2.3 液体の回折	219		
● III 超低温			[中島哲夫] ..
1. 極低温 (very low temperature) と超低温 (ultra-low temperature)	226	3. He-3 および He-4 の状態図の異常	229
2. 量子結晶 (Quantum Crystal) とは何か?	227	4. 固体ヘリウム	230
		5. 固体 He-4 のマルテンサイト変態の X線トポグラフィによる観察	231
● IV 超高真空			[高橋敏男] ..
1. 結晶表面による X線の回折現象	236	4. 実験装置	239
2. 実験方法	236	5. 三次元的な原子配列の決定	239
3. 解析法	237		
■第2章 材料評価技術(II)電子状態	243		
第1節 真空紫外, 軟 X線分光	243		[太田俊明] ..
1. 吸収の理論的背景	243	3. 応用例	246
2. 実験法	244		
第2節 光電子分光	250		[藤森 淳] ..
1. 光電子分光により得られる情報	250	2. 実験技術	254
1.1 価電子帯	250	2.1 システムの構成	254
1.2 内殻準位	251	2.2 電子エネルギー分析器	254
1.3 角度分解光電子分光	252	2.3 検出系	254
1.4 光エネルギーの連続性の利用	252	2.4 試料	256
1.5 偏光性の利用	253	2.5 試料マニピレータ	257
1.6 スピン偏極光電子分光	253	2.6 試料の交換・移動	257
1.7 定量分析	253	2.7 光電子のスピン解析	259
1.8 光電子回折	253	3. データ処理	259
第3節 コンプトン散乱	261		[伊藤文武] ..
1. コンプトン散乱の原理	261	3. シンクロトロン放射光を用いたコンプトン散乱	263
2. コンプトン散乱の実際	262	3.1 高分解コンプトン散乱	263
2.1 コンプトン散乱の特徴	262	3.2 磁気コンプトン散乱	265
2.2 コンプトン散乱実験のデータ解析	262		
第4節 X線共鳴磁気散乱	267		[並河一道] ..
1. X線の磁気散乱	267	1.2 原子による X線の磁気散乱振幅	268
1.1 X線と電子の磁氣的相互作用	267	2. X線共鳴磁気散乱によるスピン状態評価	

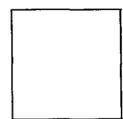
の原理	269	3.1 実験装置および試料	271
3. X線共鳴磁気散乱によるスピン状態評価 の実際	270	3.2 測定法およびデータ解析	271
第5節 X線分光法	〔飯田厚夫〕		274
1. 蛍光X線分析法とSR	274	4. X線の全反射を利用した分析	278
2. SR励起モードと検出下限	275	5. SRマイクロアナライザ	279
3. SR単色光励起の応用	276		
第3章 イメージング法			281
第1節 X線顕微鏡	〔青木貞雄〕		281
1. X線顕微鏡像のコントラスト	281	2.2 密着顕微法	283
1.1 透過法	281	2.3 ゾーンプレートX線顕微鏡	284
1.2 蛍光X線法	282	2.4 斜入射X線顕微鏡	285
2. X線顕微鏡の種類と特徴	282	2.5 多層膜X線顕微鏡	286
2.1 投影拡大法	282	2.6 走査型X線顕微鏡	286
第2節 トモグラフィ			289
●I トモグラフィ(1)	〔近浦吉則〕		289
●II トモグラフィ(2) — 単色X線トモグラフィ —	〔宇佐美勝久〕		293
1. 装置の構成	293	1.4 データ収集および像再構成	297
1.1 結晶分光器	293	2. CT像計測例	297
1.2 X線像の拡大	295	3. 問題点と今後の課題	299
1.3 一次元 array 検出器	296		
第4章 プロセッシング (光と物質の相互作用)			301
第1節 固体表面	〔太田俊明〕		301
1. 光の放出	301	3. 電子・分子・イオンの解離	304
2. 電子の放出	302		
第2節 光化学反応	〔田中健一郎/宇理須恒雄〕		306
1. 光化学反応の基礎過程	306	2.1 放射光励起の特徴	308
1.1 光の吸収と励起	306	2.2 放射光スペクトル分布	308
1.2 励起エネルギーの変遷	306	2.3 CVDおよびエッチングの反応モ ド	309
1.3 光化学二次過程	307	2.4 CVDおよびエッチングの実験例	309
2. 半導体プロセス技術への応用	308		



第Ⅲ篇



応用篇



第1章 総論	〔石黒武彦〕		315
1. 物質研究と放射光	315	2. 放射光利用の現況	316
第2章 半導体			319
第1節 概説	〔松井純爾〕		319
1. 半導体デバイスの動向	319	1.3 III-V族化合物半導体デバイスの必 然性	320
1.1 デバイス材料の高品質化	319	2. 半導体材料・デバイスの評価	320
1.2 Si LSI加工プロセスの高度化	319		

2.1 組成についての評価	323	2.3 電子状態についての評価	323
2.2 結晶構造についての評価	323		
第2節 欠陥評価	324		
● I 微小歪み	[松井純爾] 324		
1. 半導体結晶中の歪み	324	4.1 アンダードープ GaAs 結晶の場合	328
2. 歪み測定実験	324	4.2 In ドープ GaAs 結晶の場合	330
3. Si 結晶の微小歪み測定の例	325	4.3 微小局所歪みの発生について	330
4. GaAs 結晶の微小歪み測定の例	328		
● II 動的観察	[佐藤史郎] 332		
1. Live X-ray Topography	332	1.3 その他の観察	338
1.1 転位の観察	333	2. ストロボトポグラフィ	338
1.2 微小欠陥に関する観察	336		
第3節 電子状態	[谷口雅樹] 341		
1. 光吸収・反射	341	2.1 価電子帯光電子放出	344
1.1 バンド間吸収	341	2.2 共鳴光電子放出	345
1.2 内殻吸収	342	2.3 表面準位	346
2. 光電子放出	344		
第3章 誘電体および相転移	[藤井保彦] 349		
1. 結晶構造	349	2.2 表面散乱 (Truncation Rod)	352
1.1 異常散乱の利用	349	3. 相転移	353
1.2 高分解能粉末回折法	350	3.1 低次元系の相転移	353
1.3 絶縁体の金属化	350	3.2 ステージ構造相転移	355
2. 表面層	352	3.3 整合-不整合相転移	356
2.1 反射率	352	3.4 相転移のカイネティックス	357
第4章 磁性体	[中島哲夫] 359		
1. 磁性体とは	359	3.2 純金属銅	363
2. 原子磁石間の相互作用と配列	359	3.3 体心立方ヘリウム-3	363
3. 核磁性	361	3.4 稠密六方ヘリウム-3の磁性	368
3.1 双極子相互作用の動的方法による核磁気秩序	361	3.5 ハイパー・ファイン・エンハンスト核磁気秩序	368
第5章 医学への応用	[秋貞雅祥/武田 徹] 373		
1. 生体画像のコントラスト	374	3. 欧米における SR, C. A. の計画	378
2. 冠状動脈造影を非侵襲的に行う方法の可能性 (DSA の概論)	376	4. PF におけるわれわれの SR, C. A. の研究	380
第6章 分子生理学	[植木龍夫] 385		
1. 生物構造研究にはシンクロトロン放射のどのような特性が有効か?	385	3. 非常に微弱な散乱強度分布の測定	389
2. 機能に密着した, もしくは機能の理解をめざしている研究	385	4. 空間相関法による1粒子散乱の記録の試み	390
		5. 異常散乱を用いた研究	390
第7章 触媒	[西嶋昭生/松林信行] 393		
1. EXAFS による研究	394	1.1 金属担持触媒	394

1.2 酸化物・硫化物触媒	395	2. XPS および UPS	398
1.3 均一系触媒	396	3. 今後の課題	399
1.4 その他	396		
■第8章 蛋白質	[勝部幸輝/田中信夫] ...		403
1. シンクロトン放射による蛋白質のX線		3. 位相決定について	404
結晶構造解析	403	4. 原子種の識別について	406
2. 結晶の大きさと回折X線強度	403	5. 動的構造の決定について	407
■第9章 光標準	[西 師毅] ...		409
1. 概説	409	2.2 光標準用リングの実例	412
1.1 分光放射測定 of 標準	409	2.3 一次標準性の検証	413
1.2 シンクロトン放射の一次標準性	409	3. シンクロトン放射による光標準の応用 ...	413
2. 標準光源としての電子蓄積リング	410	3.1 光源への値づけ	413
2.1 リングに対する要求およびシンクロ		3.2 分光放射計への値づけ	414
トン放射の特性把握	410	3.3 検出器への値づけ	415