

目次

I. 格子欠陥測定法概説

1. 格子欠陥の特徴

鈴木 秀 次

1.1	格子欠陥	1
1.2	点欠陥の構造とおもな性質	2
	A. 原子空孔...(2)/ B. 格子間原子...(2)/ C. その他の点欠陥...(4)	
1.3	転 位	4
	文 献	7

2. 試料について

鈴木 秀 次

2.1	どんな試料を用いるか	9
2.2	純度と化学組成を知る方法	10

2.3 完全度の高い結晶を得る方法	12
文 献	13

3. 格子欠陥の観察と測定

鈴木 秀 次

3.1 点欠陥の測定	15
A. 点欠陥の種類の設定…(15)/ B. 点欠陥の数の測定…(17)/ C. 移動度の測定…(18)/ D. 点欠陥の構造…(18)	
3.2 転位の観察	19
A. 直接観察…(19)/ B. 平均密度の測定…(20)/ C. 転位の運動…(21)	
文 献	22

4. 格子欠陥の導入

鈴木 秀 次

4.1 点欠陥の導入	23
A. 急冷…(23)/ B. 照射損傷…(24)/ C. 照射技術…(26)	
4.2 転位の導入	27
文 献	28

II. 試 料 の 準 備

5. 完全度の高い単結晶試料の育成

鈴木 平

5.1 序 論	29
5.2 融液からの結晶成長	31
A. 界面の一樣運動による成長…(32)/ B. らせん転位による成長…(33)	
C. 2次元核形成による結晶成長…(33)	
5.3 固液界面の構造	34
A. 不連続的固液界面構造(格子模型)…(34)/ B. 遷移層的固液界面構造…(35)	
5.4 融液から育成した結晶の完全性	37
A. 転位の発生とリニエジ構造について…(37)/ B. 組成的過冷却による不完全構造(セル構造)について…(40)	

結 び	42
文 献	43

6. チョクラルスキー法

鈴木 平・角野浩二・東 晃・小黑 貢

6.1 金属・合金単結晶の育成	45
A. 序論…(45)/ B. 高周波回転引上げ炉について…(46)/ C. 結晶育成上の諸問題…(47)/ D. 育成結晶の完全度の測定…(49)	
結 び	49
6.2 Ge, Si, Bi 単結晶の育成	49
A. 緒言…(49)/ B. 準備…(50)/ C. 結晶育成…(50)	
6.3 低転位密度氷単結晶の育成	52
A. 氷の特殊性…(52)/ B. チョクラルスキー法…(53)/ C. 改良ブリッジマン法…(54)/ D. 改良ブリッジマン法による量産…(55)	
文 献	56

7. ブリッジマン法

井村 徹・鈴木秀次

7.1 低転位密度銀単結晶の育成	61
A. 実験方法…(61)/ B. 育成された単結晶の完全度…(64)/ C. 完全度の高い単結晶を育成するための条件の検討…(65)/ D. 転位密度を低減するための焼鈍効果の検討…(66)/ E. 高純度低転位密度を維持するための黒鉛るつぼの設計と純化…(66)	
7.2 特殊な形をした金属単結晶のつくり方	69
A. 細い結晶…(70)/ B. 引張試験用単結晶…(71)/ C. 完全度の高い角柱結晶…(74)/ D. 結晶方向の連続的变化…(74)	
文 献	75

8. 帯 溶 融 法

竹内 伸・鎌田耕治・紀 隆雄

8.1 高純度 Ta 単結晶の育成	77
A. 原理および特徴…(77)/ B. 装置の概要…(79)/ C. Ta の帯溶融の実例…(80)	

8.2	無転位 Nb 単結晶の育成	81
	A. 完全に近い Nb 単結晶を得る方法...(81)/ B. 電子衝撃加熱装置...(82)/ C. 単結晶の育成...(85)/ D. 単結晶の完全性...(86)	
8.3	アルミニウムの帯精製	88
	A. 帯熔融法の原理...(88)/ B. アルミニウムの帯精製...(89)/ C. 帯精製アルミニウム中の残存不純物...(91)	
	文 献	94

9. 歪 焼 鈍 法

武内朋之・竹内 伸・出口考彦・紀 隆雄

9.1	純 鉄	97
	A. 原理...(97)/ B. 温度傾斜炉...(99)/ C. 純鉄単結晶を大量に作成した例...(100)	
9.2	鉄 合 金	102
	A. 原理および特徴...(102)/ B. 試料の前処理法...(103)/ C. 最終焼鈍...(104)/ D. 鉄合金に関する実例...(105)	
9.3	歪焼鈍法によるアルミニウム単結晶の製作	107
	A. 製作法...(107)/ B. 高完全度アルミニウム単結晶の製作法...(111)	
	文 献	113

10. 蒸着法による薄膜単結晶

矢 田 慶 治

10.1	はじめに	115
10.2	格子像に必要な膜厚の最適値	116
10.3	金属薄膜単結晶	118
	A. 2 段法 (Pashley の方法) によるもの...(118)/ B. 1 段法によるもの...(122)	
10.4	金属 2 重膜および合金薄膜単結晶	122
10.5	非金属の単結晶薄膜	122
	文 献	123

11. ひげ結晶

吉田和彦

11.1	ひげ結晶の特色と物性研究	125
11.2	水素還元法	126
	A. ブレナー法...(126)/ B. VLS 機構...(128)	
11.3	蒸着法	129
11.4	その他	131
	A. 水溶液からの成長...(131)/ B. 真正ひげ結晶...(131)	
11.5	結び	131
	文献	132

12. 焼鈍による完全化

北島貞吉

12.1	まえがき	135
12.2	転位の消滅過程	136
12.3	結晶の育成と整形	138
12.4	熱サイクル焼鈍	139
	文献	142

13. 結晶の切断と研摩

井村 徹

13.1	ウェットスレッド法（無歪切断）	146
13.2	放電加工法	147
	A. ワイヤ電極による結晶の切断...(148)/ B. アシッドカッターとの比較...(149)	
13.3	マルチワイヤソー	149
13.4	無歪研摩	151
	文献	153

III. 格子欠陥の観察と測定

14. 長さと格子定数の精密同時測定による原子空孔濃度の決定

稔 野 宗 次

14.1	方法の原理 (Simmons-Balluffi の方法)	155
14.2	測定上の注意事項	156
14.3	装置の構造	157
14.4	実験の手順	159
14.5	測定例	160
	文 献	161

15. 陽電子消滅による格子欠陥の実験

堂 山 昌 男

15.1	はじめに	163
15.2	陽電子源	164
15.3	r - r 角相関	164
15.4	消滅 r 線のエネルギー分析	166
15.5	陽電子寿命測定	167
15.6	陽電子消滅に及ぼす格子欠陥の影響	167
15.7	トラッピング模型	168
15.8	純金属および合金中の原子空孔	169
15.9	希薄合金中の原子空孔と原子空孔—不純物原子対	172
15.10	不純物原子による陽電子トラッピング	172
15.11	時効現象	172
15.12	溶融金属, 非晶質金属	173
15.13	照射損傷	173
15.14	転位, 塑性変形, 疲労	174
	文 献	175

16. NMR による格子欠陥の研究

深井 有

16.1	アルカリハライド中の不純物——格子歪の研究	180
16.2	金属中の不純物——しゃへい電荷の研究	184
16.3	原子拡散の研究	186
	文 献	191

17. ESR による点欠陥の研究

平田 光 児

17.1	E 中心による吸収線	195
17.2	E 中心の構造	197
17.3	ESR の測定装置	199
	文 献	203

18. メスバウアー効果による格子欠陥の研究

藤田 英 一

18.1	無反跳 γ 線放射と吸収	205
18.2	線源および吸収体として使用できるアイソトープ	206
18.3	測定装置と測定すべき量	207
18.4	測定例	209
	文 献	209

19. チャネリングによる格子欠陥の研究

伊藤 憲 昭

19.1	チャネリングの原理	211
19.2	チャネリング効果の検出	212
19.3	完全結晶におけるチャネリング	214
19.4	粒子束分布と格子欠陥構造の決定	216
19.5	格子間型欠陥量の決定	218
	文 献	219

20. 電界イオン顕微鏡

中村勝吾

20・1	緒言	221
20・2	FIM の原理	222
	A. 電場電離現象…(222)/ B. FIM の構造と結像条件…(223)/ C. FIM 像の明るさと分解能…(225)	
20・3	電場蒸発現象と実験技術	226
	A. 電場蒸発法…(226)/ B. 実験技術…(228)	
20・4	格子欠陥の観察	229
	A. 種々の型の FIM 像の異状…(229)/ B. 点欠陥の観察…(230)/ C. 線, 面欠陥の観察…(231)/ D. 不純物原子の観察…(231)/ E. その他の応用…(232)	
	文献	232

21. 透過電子顕微鏡観察

吉田 鉤・井村 徹・橋本初次郎
藤田広志・吉田博行

21・1	微小欠陥の観察	235
	A. 序…(235)/ B. 電子顕微鏡観察における問題点…(236)/ C. 電子顕微鏡透過試料の製法…(237)/ D. 空孔集合体の形成機構…(238)/ E. 空孔集合過程の実験的研究…(240)/ F. 微小欠陥の形状の研究…(242)	
21・2	透過電子顕微鏡動観察とその応用	243
	A. 動観察・記録法…(245)/ B. 動観察のための試料処理装置…(247)/ C. 動観察の応用…(251)	
21・3	高分解能像	254
	A. 格子欠陥の高分解能像を得る条件…(254)/ B. 多波像と格子像と結晶構造像…(255)/ C. 高次反射励起の明視野像…(260)/ D. 原子レベルの膜厚変化を写す方法…(261)/ E. 暗視野照明による小原子集団と格子欠陥観察法…(263) / F. 2 次反射消滅臨界電圧における像…(265)	
21・4	超高電圧電子顕微鏡	265
	A. 電顕法の精度の向上…(266)/ B. 観察可能な試料厚さと電顕の加速電圧…(268)/ C. 電顕内試料処理装置とそれによって開かれる新しい研究分野…(271)/ D. 電子線による照射損傷とその応用…(273)	

21.5	ウィークビーム法	274
A.	原理…(275)/ B. 方法…(276)/ C. 転位の観察と位置決定…(278)/	
D.	拡張転位の観察…(279)/ E. 欠陥クラスターおよび析出分の観察…	
	(282)	

文 献	282
-----	-----

22. X線回折顕微法

角野浩二・東 晃・福田明治

22.1	Ge, Si 結晶中の転位の観察	289
A.	緒言…(289)/ B. 方法…(290)/ C. 試料…(292)/ D. 写真法による観察…(292)/ E. X線 T.V. による観察…(293)	

22.2	氷単結晶中の転位の観察	295
A.	氷の特殊性…(295)/ B. ラングカメラによる氷単結晶中の転位の観察…(296)/ C. 応力下における転位の運動の観察…(298)	

文 献	301
-----	-----

23. X線ラインプロファイル

中島耕一・佐藤進一

23.1	積層欠陥（粉末試料）	303
A.	積層欠陥の解析…(304)/ B. 積層欠陥頻度の測定…(307)/ C. 単結晶内の積層欠陥頻度の測定…(309)	

23.2	内 部 歪	309
A.	回折強度曲線の解析…(309)/ B. 解析法の検討…(311)	

23.3	積層欠陥を含む単結晶のX線散漫散乱の測定	312
A.	はじめに…(312)/ B. 理論計算…(314)/ C. 単結晶の測定実験…(315) / D. 結び…(320)	

文 献	320
-----	-----

24. 食凹による転位の観察

丸川健三郎・大竹周一・広川友雄
山田朝治・三原 稔

24.1	Cu とその合金	323
A.	試料準備と観察の手順…(323)/ B. 観察例…(325)/ C. 転位速度の測定…(327)	

24・2	Bi の食凹観察	329
	A. 腐食方法…(330)/ B. 食凹の錐面…(330)/ C. 黒い食凹と白い食凹 …(331)/ D. 2重腐食法…(335)	
24・3	Sn の食丘	335
	A. 食丘…(335)/ B. 食丘の発生例…(335)/ C. Sn における食丘の発生 …(336)/ D. 食丘による転位の挙動の観察…(340)	
24・4	イオン結晶	344
	A. 試料の準備…(344)/ B. 腐食法…(345)/ C. 化学研摩…(347)/ D. 実験例…(347)	
24・5	化合物半導体	349
	A. はじめに…(349)/ B. 試料の選択…(350)/ C. 観察面の選択…(351) / D. 試料の前処理…(351)/ E. 食凹用腐食液の選定…(352)/ F. 腐 食操作における注意…(354)	
	文 献	355

25. 引張試験その他の機械試験

成田舒孝・武内朋之・角野浩二
鈴木敬愛・三原 稔・吉田和彦
後藤芳彦・蔵元英一・鈴木秀次

25・1	FCC 金属の引張および圧縮試験	359
	A. すべり変形…(360)/ B. 不均質変形…(362)/ C. 引張試験機を用い た実験…(363)	
25・2	BCC 金属の引張試験	365
	A. 原理…(365)/ B. 試験機…(365)/ C. つかみ…(366)/ D. 試験結 果の一例…(368)/ E. 引張試験に付随する補足的な実験…(368)/ F. 結 果の解析に関する注意…(369)	
25・3	共有結合結晶 (Ge, Si, InSb)	369
	A. 共有結合結晶の塑性変形の特徴…(369)/ B. 試料作製…(370)/ C. 変形方法…(372)	
25・4	イオン結晶の圧縮試験	375
	A. 低温用圧縮試験装置…(375)/ B. 圧縮試験用試料…(376)/ C. 降伏 応力の決定と圧縮試験の問題点…(378)/ D. イオン結晶の低温の降伏応	

力…(380)

25.5 曲げ試験 381

A. 曲げ試験の特徴…(381)/ B. 曲げ試験装置…(382)/ C. 曲げ試験における試験片中の応力…(383)/ D. 曲げ試験の応用…(384)

25.6 ひげ結晶の引張試験とすべり線の観察 385

A. ひげ結晶の引張試験…(385)/ B. ひげ結晶のすべり線観察…(389)

25.7 1K以下における引張試験 392

A. 1K以下の冷凍…(392)/ B. 引張試験用 ^3He クライオスタット…(393)/ C. 実験の手順…(395)/ D. 実験上の注意, 測定例…(396)

25.8 固体ヘリウムの塑性変形 397

A. ヘリウムの特殊性…(397)/ B. 測定装置…(398)/ C. 測定結果の解析法…(401)

文 献 403

26. 超音波吸収と音速測定

生嶋 明・比企能夫・小岩昌宏・守屋 健

26.1 超音波吸収 407

A. 超音波吸収の測定…(407)/ B. 測定に際しての具体的な事柄…(411)

26.2 高圧下の超音波吸収 416

A. 高圧下の超音波測定…(416)/ B. 実験装置および測定法…(418)/ C. 測定例…(419)

26.3 低周波内部摩擦(ねじり振り子法) 421

A. 内部摩擦のあらわし方…(422)/ B. 装置例と実験法…(422)/ C. 各種の振動検出方式と自動化…(428)

26.4 音速の微小変化 429

A. 音速測定の原理…(429)/ B. 装置の例…(432)/ C. 鉛についての実験例…(434)

文 献 436

27. 拡散係数の測定

平野賢一・吉田正幸・荒井英輔

27.1 金属の拡散係数 439

A. 拡散係数の定義と種類…(439)/	B. 自己拡散係数および不純物拡散係数の決定…(441)/	C. 相互拡散係数の決定…(444)/	D. Fick の法則によらない方法…(447)
27・2	Si の拡散係数	447	
A. 格子間型金属不純物…(447)/	B. 空孔型自己拡散係数…(449)/	C. III族およびV族不純物…(450)	
文 献	454		
28. 電 気 抵 抗	古川弘三・河部本 悟		
28・1	電気抵抗の測定	457	
A. 抵抗率増加量の測定…(457)/	B. 測定上の注意点…(459)/	C. 直流抵抗測定回路の一例…(461)	
28・2	電気抵抗の自動測定	461	
A. 電位差計法…(462)/	B. 交流による電気抵抗変化量の自動測定…(462)/	C. 直流による電気抵抗の自動測定法…(465)/	D. おわりに…(467)
文 献	467		
29. 熱 伝 導	鈴木敬愛・松尾 徹・比企能夫		
29・1	イオン結晶の低温の熱伝導	469	
A. 熱伝導度の測定法…(470)/	B. クライオスタット…(470)/	C. 温度計および測定…(472)/	D. 実験誤差…(473)/
E. 熱伝導度の解析…(474)			
29・2	半 金 属	475	
A. 概説…(475)/	B. 試料準備…(476)/	C. 測定方法…(476)	
29・3	金属の熱伝導(交流法)	479	
A. 交流法による熱伝導率, 比熱の測定原理…(479)/	B. 測定装置および測定方法…(481)/	C. 熱伝導率, 比熱の測定例…(482)	
文 献	485		
30. 蓄積エネルギー	田岡忠美・岩田忠夫		
30・1	蓄積エネルギーの測定	487	

30・2	等速昇温法による蓄積エネルギーの測定	488
	A. 試料の作成…(488)/ B. 自動差動熱量計の原理と測定法…(489)/	
	C. 測定結果例と格子欠陥の消失…(490)	
30・3	等温法による蓄積エネルギーの測定	493
	A. はじめに…(493)/ B. 方法の原理…(493)/ C. 等温熱量計および実	
	験の手順…(495)/ D. 測定例 (497)	
	文 献	499

IV. 格子欠陥の導入

31. 急 冷 法

下村義治・中村藤伸・木村 宏・新宮秀夫

31・1	固体試料の急冷 I	501
	A. 急冷による格子欠陥生成における問題点…(501)/ B. 電流加熱急冷法	
	…(502)/ C. 垂直炉急冷法…(503)/ D. 原子空孔集合体形成過程の解	
	析に便利な急冷法…(504)/ E. ガス不純物による汚染防止法…(504)/	
	F. パルス加熱法…(506)	
31・2	固体試料の急冷 II	507
	A. 加熱・急冷法…(507)/ B. 冷却速度…(507)/ C. 焼入れ法の問題点	
	および注意…(508)	
31・3	液体ヘリウム II による急冷	510
	A. 方法の特徴…(510)/ B. 試片…(511)/ C. 加熱と急冷…(511)/	
	D. 他の方法との比較…(513)/ E. 他の金属合金への適用…(514)	
31・4	液体状態からの急冷	514
	A. 冷却方法…(514)/ B. 非晶質合金の形成…(515)	
	文 献	517

32. 加 工

三 浦 精

32・1	加工による転位の増殖	520
32・2	塑性変形による点欠陥の形成	521
	A. 変形量と点欠陥の濃度…(521)/ B. 点欠陥の形成機構…(521)/ C.	

白金の加工による点欠陥の導入と回復…(522)

32・3	積層欠陥の形成	524
	文 献	525

33. 電 子 線 照 射

岩 田 忠 夫

33・1	電子照射による固体の原子のはじき出し	527
	A. 電子-原子衝突…(527)/ B. はじき出しの限界エネルギー…(528)/	
	C. はじき出しの断面積…(529)/ D. はじき出しのカスケード…(530)	
33・2	電子照射実験における注意事項	532
	A. 電子エネルギーの測定…(532)/ B. 照射量の測定…(532)/ C. ビー	
	ムの調整…(532)/ D. 2次電子と後方散乱電子…(533)/ E. 電子の多	
	重散乱…(533)	
33・3	照射用クライオスタット	535
	A. 熱伝導度…(535)/ B. 電気抵抗…(536)/ C. 電流磁気効果…(538)	
	/ D. 格子定数, 長さ, X線散乱など…(538)/ E. 引張試験…(539)/	
	F. ESR, 光伝導など…(539) / G. 蓄積エネルギー…(539)	
	文 献	542

34. 中 性 子 照 射

奥 田 重 雄

34・1	中性子と物質の相互作用	545
34・2	中性子源	548
34・3	生成されるフレンケル欠陥の量と分布	549
34・4	試料の誘導放射能	552
34・5	低温照射	552
	A. 低温照射装置…(552)/ B. 測定の方法…(555)/ C. 原研での測定例	
	…(557)	
34・6	電子照射との違いと問題点	558
	文 献	561

35. 超高压電子顕微鏡内電子照射

桐谷道雄・坂 公恭

35・1	電顕内照射実験の特徴の利点	565
35・2	照射条件の制御とその測定法	567
	A. 照射強度の測定と観察記録…(567)/ B. 高温および低温照射と温度測定…(568)/ C. 電子ビームによる試料の温度上昇…(569)	
35・3	観察結果の分析	571
	A. 試料表面の効果…(571)/ B. 集合体欠陥の数密度の測定…(572)/ C. 欠陥の3次元的分布の測定…(573)/ D. 転位ループの性質の判定…(574)	
35・4	格子欠陥の挙動の抽出	577
	A. 各種現象の定量観察例…(577)/ B. この項のおわりに…(578)	
35・5	電顕内照射によって導入された欠陥と転位との相互作用の動的観察	579
	A. はじめに…(579)/ B. 実験方法の概要…(580)/ C. 観察例…(580)/ D. 試料の作製法と引張装置への装着法…(581)/ E. おわりに…(583)	
	文 献	584

付 録

1.	化学研摩液	587
2.	金属の食凹用腐食液	590
3.	非金属の食凹用腐食液	595
4.	電子顕微鏡透過観察用試料の電解研摩法	606

索 引	611
-----------	-----