

1. 電子・イオンの軌道論 (幾何光学)

1・1	総 説	1
1・2	ビームを形成するための電磁界系	1
1・3	静電磁界中における荷電粒子の運動方程式	2
1・4	荷電粒子の加速	2
1・5	変分原理の式	3
1・6	静電磁界中の荷電粒子に対する L 関数	4
1・7	静電磁界中における荷電粒子軌道の屈折率	5
1・8	荷電粒子の軌道方程式	6
1・9	静電磁界の表現式	7
1・10	直角座標系で表わされる電磁界中の軌道方程式	9
1・11	回転対称な静電磁界中の荷電粒子の軌道方程式	10
1・12	線形微分方程式の不変量 (Invariant)	12
1・13	近軸軌道方程式によるレンズ作用の説明	12
1・14	電子レンズの焦点距離の近似公式	14
1・15	収 差	16
1・15・1	回折収差	16
1・15・2	軌道の複素表示	17
1・15・3	近軸軌道の表現形式	17
1・15・4	幾何収差	18
1・15・5	色 収 差	20
1・15・6	軌道の相反性	21
1・15・7	軸非対称収差と収差の次数	21
1・16	空間電荷効果	22
1・16・1	近軸軌道方程式とビームパービアンس	22
1・16・2	等電位・無磁界空間でのビーム径の増大	22
1・16・3	無磁界・減速空間でのビーム径の増大	23
1・16・4	磁界による高パービアンス電子ビームの集束	23
1・16・5	正イオンによる中和と相対論効果	24

1.17 位相図とビーム径方程式	25
1.17.1 位相図とエミッタンス	25
1.17.2 エミッタンス図とアクセプタンス図	26
1.17.3 エミッタンス保存と輝度	27
1.17.4 ビーム径方程式	27

2. 軌道の数値解析

2.1 軌道の数値解析	29
2.1.1 近軸軌道の数値解析	30
2.1.2 取差の数値解析	31
2.1.3 一般の荷電粒子の運動方程式の数値解析	31
2.1.4 空間電荷制限荷電粒子ビームの数値解析	32
2.2 多元連立1次方程式の解法	33
2.2.1 直接法——ガウス-ヨルダン法	33
2.2.2 反復法——逐次加速緩和法 (SOR 法)	33
2.3 差分法	35
2.3.1 電磁界を支配する方程式の近似差分式	35
2.3.2 境界の設定	39
2.4 有限要素法	40
2.4.1 有限要素方程式	40
2.4.2 係数の計算式	42
2.4.3 プログラミング	43
2.5 電荷重畳法と表面電荷法	44
2.5.1 電荷方程式	44
2.5.2 応用例	46
2.6 変数分離法	47
2.7 等角写像法	49
2.8 電流法	50

3. レンズ

3.1 磁界レンズ	55
3.1.1 電子光学特性	56
3.1.2 鐘形磁界分布モデル	57
3.1.3 ポールピース形状と磁界分布	58
3.1.4 焦点特性	60

3・1・5	球面収差と色収差	60
3・1・6	磁界レンズの改善	63
3・2	電界レンズ	64
3・2・1	単孔レンズ	65
3・2・2	加速レンズ	65
3・2・3	アインツェルレンズ	68
3・3	4極子レンズ	72
3・3・1	ポテンシャル分布	73
3・3・2	電子光学特性	75
3・3・3	4極子レンズの応用と多段レンズ系	77
3・4	収差補正レンズ	82
3・4・1	非点収差補正	82
3・4・2	球面収差補正	83
3・4・3	薄膜レンズ (Foil lens)	84
3・4・4	自己整合型補正レンズ	86

4. 偏 向

4・1	総 説	95
4・2	小角度集束偏向理論	96
4・2・1	静電磁界ポテンシャルの性質	96
4・2・2	軌道計算	99
4・2・3	近軌道方程式とその解の性質	101
4・2・4	3次収差	102
4・2・5	色収差	104
4・2・6	ランデイング角	105
4・2・7	高次収差解析および大角度偏向解析	105
4・3	偏向系の設計	105
4・3・1	偏向器の概要	105
4・3・2	設計の実際	108

5. 電 子 銃

5・1	熱陰極電子銃	115
5・1・1	熱陰極	115
5・1・2	高パービアンズ型	119
5・1・3	高輝度型・平面陰極型	130

5.1.4	球面陰極型	139
5.1.5	ヘアピン形陰極	141
5.2	電界放出電子銃	145
5.2.1	電界放出陰極	145
5.2.2	タングステン針状陰極の作製法と処理方法	147
5.2.3	冷陰極	151
5.2.4	2極型	152
5.2.5	多極型	154
5.2.6	磁界界浸型	158
5.3	プラズマ電子銃	159
5.3.1	プラズマ電子銃の原理	159
5.3.2	プラズマ電子銃の設計	161
5.4	異常速度分散と確率過程的クーロン相互作用	163
5.4.1	異常速度分散の実験結果	163
5.4.2	確率過程的クーロン相互作用	164

6. イオン源・イオン銃

6.1	総 説	175
6.1.1	イオンとその属性	175
6.1.2	イオン源プラズマの生成	181
6.1.3	イオンビームの形成	190
6.1.4	イオン源の応用と現状	194
6.2	高周波型イオン源	196
6.2.1	RF型イオン源	196
6.2.2	マイクロ波イオン源	198
6.3	PIG型, 熱陰極低電圧アーク放電型, スパッタ型, 電子衝撃型, 低電圧放電型	202
6.3.1	PIG型イオン源	202
6.3.2	低電圧アーク放電型	204
6.4	電子ビーム入射型	207
6.4.1	ビームプラズマ型イオン源	207
6.4.2	電子ビームイオン源	212
6.5	デュオプラズマトロンとその変形	213
6.5.1	デュオプラズマトロン	214
6.5.2	デュオプラズマトロンの変形	217

6.6	金属表面と原子間の相互作用を利用する表面効果イオン源	218
6.6.1	表面電離型	219
6.6.2	強電界印加型	222
6.6.3	2次イオン放出型	229
6.7	塊状原子集団(クラスタ, ドロップレットなど)を利用するイオン源	234
6.7.1	電子衝撃型	234
6.7.2	静電界印加型	240

7. 走行時間効果とパルスビーム

7.1	高周波電界中の走行時間効果	249
7.1.1	偏向感度の低下	249
7.1.2	高周波4極子質量分析器	249
7.2	走行時間効果による時間集束作用	250
7.2.1	速度変調による集束	250
7.2.2	高周波レンズ	251
7.2.3	パルスビームのエミッタンス図	252
7.2.4	軌道変調による集束	253
7.3	パルスビームの発生	254
7.3.1	パルスビーム発生的方式	254
7.3.2	パルスビーム発生の実際	256
7.4	パルスビームの測定	259
7.5	パルスビームの応用	261
7.5.1	走行時間型質量分析器	261
7.5.2	ストロボ電子顕微鏡	262
7.5.3	パルス放射線分析	264
7.5.4	その他の応用	265
7.6	パルスビームの相対論補正	265

8. ビーム系の測定

8.1	ビーム電流と分布の測定	269
8.1.1	ビーム電流の測定	269
8.1.2	ビームの分布の測定	271
8.2	エミッタンスと輝度の測定	277
8.3	エネルギー分析	280

8・3・1	阻止電位法	281
8・3・2	偏向法	281
8・3・3	飛行時間法	290
8・3・4	波高分析法	290
8・4	質量分析	291
8・4・1	磁場型質量分析装置	292
8・4・2	高分解能質量分析計	293
8・4・3	4重極型質量分析計 (Qマス)	294
8・4・4	イオンサイクロトロン	295
9. 電子・イオンビームの照射効果		
9・1	総 説	299
9・1・1	電子と物質との相互作用	299
9・1・2	イオンと物質との相互作用	300
9・2	電子・イオンの飛程と分布	302
9・2・1	衝突過程とエネルギー損失	302
9・2・2	分 布	307
9・2・3	スパッタリング	310
9・3	2次電子放出, オージェ電子放出および2次イオン放出	315
9・3・1	2次電子放出	315
9・3・2	オージェ電子放出	320
9・3・3	イオン衝撃による2次放出	320
9・4	光子放出	327
9・4・1	X 線	327
9・4・2	蛍光とリン光	330
9・5	衝撃導電 (EBIC)	332
9・5・1	電子, 正孔対生成機構と生成エネルギー	332
9・5・2	衝撃導電	333
9・5・3	起 電 力	334
9・5・4	衝撃導電の半導体への応用	335
9・6	照射損傷	337
9・6・1	照射損傷発生機構	337
9・6・2	照射損傷量と分布	341
9・6・3	照射損傷の応用	343
9・7	熱の発生・伝導	347

9・7・1	熱の発生	347
9・7・2	連続照射時の熱の伝導	347
9・7・3	パルス加熱時の熱の伝導	350

10. 電子ビーム溶接

10・1	総 説	357
10・1・1	電子ビーム溶接および加工のメカニズム	357
10・1・2	電子ビーム溶接の基本的性質	359
10・2	電子ビーム溶接装置	366
10・2・1	電子銃	366
10・2・2	電子ビーム溶接装置の分類	369
10・2・3	溶接機のオプション	374
10・3	応 用	376

11. 電子ビーム加工および記録

11・1	電子ビーム加工の特徴	383
11・1・1	電子ビーム加工装置	383
11・1・2	構成と構造	384
11・1・3	ビーム制御系	385
11・1・4	補正制御系	386
11・1・5	加工制御系	386
11・2	電子ビーム加工例	388
11・3	高密度電子ビームメモリ	392
11・3・1	電子ビームメモリの目標と問題点	392
11・3・2	電子ビームメモリ用各種記録媒体	393
11・3・3	電子ビームメモリ用 Si-MOS ターゲット	395
11・4	電子ビーム録画	396
11・4・1	電子ビーム録画法の分類	397
11・4・2	電子ビーム録画方式の例	398
11・4・3	録画フィルムの解像度の測定法	399
11・4・4	録画フィルムの信号対雑音比	400

12. 電子ビーム励起レーザ

12・1	電子ビーム励起ガスレーザ	405
------	--------------	-----

12・1・1	電子ビーム制御放電炭酸ガスレーザ	406
12・1・2	エキシマーレーザ	406
12・1・3	HF 化学レーザ	409
12・1・4	自由電子レーザ	409
12・2	電子ビーム励起半導体レーザ	410

13. 電子・イオンビーム露光

13・1	総 説	415
13・1・1	微細加工の重要性	415
13・1・2	微細加工の方法	415
13・1・3	各方式の使い分け	417
13・2	電子・イオンビーム露光の特徴	417
13・2・1	電子・イオンビームの特徴	417
13・2・2	露 光 法	420
13・3	電子・イオンビーム露光特性とプロファイル	420
13・3・1	ポジ型レジストの溶解特性	420
13・3・2	プロファイル	421
13・4	近接効果と補正	424
13・4・1	近接効果現象	424
13・4・2	近接効果補正	426
13・5	電子ビーム露光装置と応用	429
13・5・1	ベクタ走査型描画装置	429
13・5・2	ラスタ走査型描画装置	431
13・5・3	ラスタベクタ混合型描画装置	434
13・5・4	電子ビーム描画の応用	434
13・6	イオンビーム露光装置と応用	435
13・6・1	背 景	435
13・6・2	装 置	436
13・6・3	応 用	438
13・7	極限微細パターン描画	440
13・7・1	電子ビーム描画	440
13・7・2	X線露光	441
13・7・3	イオンビーム描画	442
13・7・4	レジストの解像限界	442
13・7・5	極微細パターンの応用	443

14. 電子・イオンビーム重合・分解

14.1 電子ビーム重合・分解	447
14.1.1 重合・分解の機構	447
14.1.2 応 用	449
14.2 電子ビーム硬化	451
14.2.1 電子ビーム硬化の原理と特徴	451
14.2.2 電子素子への応用	454
14.3 イオンビーム重合	455
14.3.1 プラズマ重合	455
14.3.2 イオンビームによる高分子膜の生成	458

15. プラズマエッチング，反応性イオンエッチング

15.1 プラズマエッチング，反応性イオンエッチングの機構と特徴	461
15.2 プラズマエッチング，反応性イオンエッチングの実例	470
15.2.1 シリコン基板，ポリシリコンのエッチング	471
15.2.2 SiO_2 のエッチング	473
15.2.3 Si_3N_4 のエッチング	474
15.2.4 アルミニウムのエッチング	474
15.2.5 その他無機物のエッチング	475
15.2.6 レジストのドライ処理	476
15.2.7 エッチング損傷	477

16. イオンビームエッチング，反応性イオンビームエッチング

16.1 イオンビームエッチング	481
16.1.1 原理および装置構成	481
16.1.2 スパッタ率	482
16.1.3 エッチング形状	483
16.1.4 マスク材料	485
16.1.5 再付着現象	487
16.1.6 応 用 例	487
16.2 反応性イオンビームエッチングの特徴と実例	488
16.2.1 イオン源とイオン種	488
16.2.2 反応性イオンビームによる Si , SiO_2 のエッチング特性	490

16・2・3	角度依存性	492
16・2・4	イオン援助効果	493
16・2・5	反応性イオンビームエッチングの実例	497
16・2・6	照射損傷	499

17. スパッタ蒸着

17・1	スパッタリングによる薄膜形成	503
17・1・1	スパッタリング装置とスパッタリング方式	503
17・1・2	スパッタリング装置の基本構成と成膜工程	506
17・1・3	スパッタリングの基礎的な制御要因	507
17・2	デバイスへの応用	508
17・2・1	スパッタ薄膜の特徴	508
17・2・2	デバイスへの応用例	508

18. イオンプレーティング

18・1	総 説	517
18・2	イオンプレーティングによる被膜形成	519
18・3	薄膜形成におけるイオンの基本的役割	522
18・3・1	蒸着膜形成時における不活性ガスイオンの照射効果	524
18・3・2	蒸着物質のイオンのもつ運動エネルギーの効果	525
18・3・3	イオンのもつ電荷が膜質に及ぼす効果	527
18・4	イオンプレーティングの応用	531
18・4・1	イオンプレーティング装置	534
18・4・2	イオンプレーティング法	537
18・4・3	反応性イオンプレーティング	539

19. イオンビーム蒸着

19・1	真空蒸着とイオン照射を併用する方法	545
19・2	蒸気化した蒸着物質の一部をイオン化する法	548
19・2・1	部分イオン化蒸着	548
19・2・2	クラスタイオンビーム蒸着	554
19・3	イオン源を主体としたイオンビーム蒸着法	562
19・3・1	原 理	562
19・3・2	IBD 装置	564

19・3・3 IBD 蒸着の具体例	565
-------------------------	-----

20. イオン注入

20・1 飛程と分布	569
20・1・1 非晶質基板中での飛程と分布	569
20・1・2 単結晶基板中のチャネリングピーク	572
20・1・3 横方向分布	573
20・2 照射損傷とアニール	573
20・2・1 照射損傷と熱処理	573
20・2・2 半導体の注入層の特性	577
20・2・3 ビームアニール	582
20・3 イオン注入装置	585
20・3・1 概 要	585
20・3・2 注入装置各論	588
20・3・3 今後の課題	593
20・4 イオン注入による半導体素子の製造	593
20・4・1 半導体素子製造におけるイオン注入の特徴	593
20・4・2 接合形成	594
20・4・3 MOS デバイスへのイオン注入	596
20・4・4 バイポーラデバイスへのイオン注入	601
20・4・5 他の LSI への応用	604
20・5 金属へのイオン注入	605
20・5・1 金属表層改質にみるイオン注入	605
20・5・2 超伝導材の臨界温度 (T_c)	605
20・5・3 化学的性質	606
20・5・4 電気化学的性質	606
20・5・5 機械的性質	607
20・5・6 注入イオン分布と実用化	608
20・6 絶縁物へのイオン注入	608

21. 電子・イオンプローブ

21・1 総 説	615
21・2 走査電子顕微鏡	617
21・2・1 走査電子顕微鏡の原理	617
21・2・2 装 置	618

21・2・3	得られる情報の発生領域	619
21・2・4	情報とその検出法	620
21・2・5	応 用	622
21・3	電子線ホログラフィー	624
21・4	低速電子回折	626
21・4・1	はじめに	626
21・4・2	装 置	626
21・4・3	応用例	627
21・5	オージェ電子分光	628
21・5・1	はじめに	628
21・5・2	装 置	629
21・5・3	定量分析	630
21・5・4	応用例	630
21・6	電子エネルギー損失分光	631
21・6・1	はじめに	631
21・6・2	装 置	631
21・6・3	応用例	632
21・7	X線マイクロアナライザ	633
21・7・1	はじめに	633
21・7・2	装置構造	634
21・7・3	X線分光器	634
21・7・4	分析モード	637
21・7・5	分析領域	638
21・7・6	定量分析	640
21・7・7	状態分析	640
21・8	2次イオン質量分析	641
21・8・1	はじめに	641
21・8・2	原理および装置	642
21・8・3	定量分析法	645
21・8・4	各種分析モードとその応用	646
21・9	低速イオン散乱分光, ラザフォード後方散乱分光	648
21・9・1	はじめに	648
21・9・2	低速イオン散乱分光とラザフォード後方散乱分光の比較	649
21・9・3	応 用 例	650
21・10	X線光電子分光	653
21・10・1	はじめに	653

21・10・2 装 置	654
21・10・3 応 用 例	654
21・11 電子ビームテストニング	655
21・11・1 はじめに	655
21・11・2 2次電子の電位コントラスト	656
21・11・3 直流またはビデオ信号印加時の電位コントラストの応用	656
21・11・4 ストロボ SEM	658
21・11・5 電子ビームによる信号入力注入	662
荷電粒子ビームの工業への応用第132委員会 研究会講演題目・発表者一覧	668
索 引	巻末