

目次

まえがき	i
執筆者一覧	ix
1 イオンビーム技術の概要	1
1.1 イオンの発見	1
1.2 イオンビーム技術の誕生	3
1.3 イオンビーム技術の発達	6
1.4 クラスタールビームの発生	8
1.5 クラスタールイオンビーム技術の発達	15
2 ガスクラスタールビームの発生	25
2.1 ガスクラスタールビームの発生の原理	25
2.2 ガスクラスタールイオンビーム装置	30
2.3 ガスクラスタールのイオン化と輸送	35
2.4 ガスクラスタールイオンビームの質量選別法	40
(1) 四重極質量分析法	40
(2) 減速電界法 (リターディング法)	41
(3) E×B法 (ウィーンフィルター)	42
(4) 磁場偏向法	43
(5) 飛行時間法 (Time of Flight : TOF)	45
(6) 高周波電界法	46
2.5 ガスクラスタールイオンビームの質量の分布	48

3 クラスタライオンビームと固体表面相互作用	53
3.1 クラスタライオンの個体表面衝突現象	53
3.1.1 計算機シミュレーション	54
(1) クラスタライオン衝突のMDシミュレーション	55
(2) クラスタライオンの衝突過程	56
(3) クラスタ衝突による標的原子の移動とラテラルスパッタリング	57
(4) 損傷形成のエネルギー・サイズ依存性	59
(5) 表面形状変化と平坦化プロセス	64
(6) 反応性ガスクラスタライオンによるエッチング	67
3.2 ガスクラスタライオンの照射効果の特長	69
3.2.1 ガスクラスタライオンの照射痕	69
3.2.2 基板の表面損傷	71
3.2.3 照射痕のクラスタサイズ依存性	72
3.2.4 基板損傷のクラスタサイズ依存性	73
3.3 クラスタライオンによるスパッタリング	74
3.3.1 ラテラルスパッタリング	74
3.3.2 スパッタリングプロセス	77
3.3.3 物理的スパッタリング	78
3.3.4 反応性スパッタリング	79
3.3.5 スパッタリングのクラスタサイズ依存性	80
3.4 クラスタライオンによる表面平坦化効果	82

3.4.1 表面平坦化プロセスの特長	83
3.4.2 表面平坦化のモデリング	87
3.4.3 表面平坦化の入射角依存性	90
(1) 希ガスクラスタライオン	90
(2) 反応性クラスタライオン	94
3.5 クラスタライオンの表面改質効果	96
3.5.1 表面酸化効果	96
3.5.2 薄膜形成効果	100
3.5.3 表面クリーニング効果	105
3.6 多原子分子クラスタライオンと固体表面相互作用	107
3.6.1 多原子分子クラスタライオンビーム	107
3.6.2 ボロンクラスタライオン注入におけるサイズ効果	108
3.7 炭素クラスタライオンと固体表面相互作用	115
3.7.1 炭素クラスタライオンビームの発生	115
3.7.2 炭素クラスタライオンの注入深さと損傷形成	116
3.7.3 損傷形成効果のクラスタサイズ依存性	119
3.7.4 2次電子・2次イオン放出過程	121
4 ナノ加工プロセス応用	127
4.1 半導体デバイス応用	127
4.1.1 半導体基板加工	128
(1) 単結晶Siウェハースの高精度加工	128

(2) SOI ウェハの高速均一化エッチング加工	131
(3) TFT 用多結晶シリコン膜の表面平坦化加工	134
(4) SiC 基板の平坦化加工	139
4.1.2 フロントエンド工程	145
(1) ガスクラスターイオン注入 (Infusion Doping)	145
(2) B ₁₀ H ₁₄ (デカボラン) イオン注入技術	153
(3) オクタデカボラン (B ₁₈ H ₂₂) によるイオン注入	161
4.1.3 バックエンド工程	163
(1) Low-k 膜への応用	163
(2) Cu 配線への応用	166
4.2 磁性・誘電体デバイス応用	167
4.2.1 磁性材料の平坦化加工	167
4.2.2 MR (磁気抵抗) 素子への応用	171
4.2.3 誘電体のトリミング加工	173
4.3 光学デバイス応用	176
4.3.1 光学多層膜への応用	176
(1) 光学多層膜と製造プロセス	176
(2) GCIB 援用蒸着法	177
(3) GCIB のさらなる応用	181
4.3.2 高精度光学素子への応用	182
(1) EUV マスク	182
(2) 光通信用フィルター (DWDM フィルター)	185

4.3.3 フォトニック結晶への応用	188
(1) GCIB 角度照射による超平坦化技術	189
(2) GCIB によるフォトニック結晶の高精度加工	190
4.3.4 小径レンズ用金型応用	191
4.4 難加工材料への応用	195
4.4.1 超高硬度 DLC 薄膜形成	195
4.4.2 CVD ダイヤモンド薄膜の平坦化加工	198
5 産業用クラスターイオンビーム装置	207
5.1 ガスクラスターイオンビーム装置	209
5.1.1 ガスクラスターイオン注入 (インフュージョンドーピング) 装置	211
5.1.2 ウルトラスムーザー	213
5.2 デカボランイオン注入装置	214
索引	219