目　次

第1章　ナノ光科学技術と量子現象 —— 1

1.1　ナノスケールの光科学技術の構成要素 …… 1
1.1.1　ナノスケールの機能と近接場光相互作用 …… 2
1.1.2　本書の内容と理論の概要 …… 4
1.2　ナノスケールの電磁相互作用と量子現象 …… 9
1.2.1　ナノ光科学技術の展開 …… 9
1.2.2　ナノ光科学における量子力学と場の理論 …… 11
1.3　ナノ光科学にかかわる量子光学的諸問題 …… 14
1.3.1　光子と電子の相互作用の素過程 …… 14
1.3.2　表面界面における光学現象と近接場光相互作用 …… 18
1.3.3　半空間における電磁場の第二量子化 …… 22
1.3.4　ナノ光科学技術とシミュレーション …… 26
1.3.5　ナノ光科学技術のコンセプト …… 27
1.3.6　近接場光相互作用における擬角運動量とスピン制御 …… 36
1.4　ナノ光デバイスへの展開 …… 38
1.4.1　ナノフォトニクスの展開 …… 38
1.4.2　メゾスコピック電子系とその特徴 …… 40
1.4.3　ナノデバイスにおける新機能の探索 …… 43
1.4.4　新技術への可能性 …… 47

第2章　近接場光相互作用の準粒子描像と励起輸送の素過程 —— 49

2.1　「光子」（フォトン）の概念と空間局在性 …… 49
2.2　近接場光相互作用における部分系と特徴抽出 …… 53
2.3　部分系における局在光子と相互作用理論 …… 56

2.3.1 素励起と準粒子（ポラリトン） …… 56
2.3.2 相互作用とダイアグラム表現 …… 57
2.3.3 局在光子による部分系の有効相互作用 …… 58
2.3.4 局在光子による相互作用の特徴 …… 60
2.4 ナノ領域の光相互作用とナノオプティクスデバイス …… 61
2.4.1 近接場光学顕微鏡と準粒子描像 …… 61
2.4.2 ナノ光デバイスへの導入 …… 63

第 3 章 近接場光相互作用のアンギュラースペクトル表現 —— 71

3.1 近接場光学と近接場光相互作用 …… 71
3.2 放射場のアンギュラースペクトル展開と近接場光相互作用 …… 74
3.2.1 近接場光相互作用によるトンネルエネルギー …… 77
3.2.2 散逸と近接場光相互作用によるトンネルエネルギー …… 80
3.3 場の量子論による光近接場の量子化と近接場光相互作用 …… 84

第 4 章 自由空間での電磁相互作用 —— 89

4.1 物質場の量子化 …… 90
4.2 自由空間での電磁場の量子化 …… 92
4.2.1 自由空間での電磁場 …… 92
4.2.2 自由空間での電磁場のモード関数 …… 93
4.2.3 電磁場の量子化 …… 98
4.2.4 電磁場のモード関数に対する対称性 …… 101
4.3 自由空間での物質場と電磁場の相互作用 …… 103
4.3.1 物質場と電磁場の相互作用 …… 103
4.3.2 相互作用表示 …… 105
4.3.3 1 次の摂動による遷移確率 …… 108
4.3.4 自由空間での自然放出確率 …… 110
4.4 体積無限大の極限とモード関数の始状態と終状態 …… 113
4.4.1 体積無限大の極限 …… 113
4.4.2 検出器および光源とモード関数の結合 …… 117

第 5 章 半空間での光近接場の量子化 —— 119

5.1 半空間の問題 …… 120
5.2 トリプレットモード関数に基づいた光近接場の量子化 …… 122
5.2.1 トリプレットモード関数 …… 125
5.2.2 トリプレットモード関数に基づいた光近接場の量子化 …… 130
5.3 ディテクタモード関数に基づいた光近接場の量子化 …… 137
5.3.1 電磁場の時間反転と空間回転 …… 137
5.3.2 ディテクタモード関数 …… 141
5.3.3 トリプレットモード関数とディテクタモード関数 …… 148
5.3.4 ディテクタモード関数に基づいた光近接場の量子化 …… 150
5.4 半空間での光子の放出確率 …… 155
5.4.1 右半空間への光子の放出確率 …… 155
5.4.2 左半空間への光子の放出確率 …… 157
5.4.3 半空間での光子の放出確率 …… 159
5.4.4 光子の放出確率に対する磁気量子数依存性 …… 163

第 6 章 散逸がある場合の近接場光相互作用によるトンネルエネルギー —— 169

6.1 金属薄膜の表面プラズモンポラリトンモード …… 169
6.2 金属薄膜近傍での近接場光相互作用 …… 176
6.2.1 金属薄膜近傍での電気双極子放射 …… 178
6.2.2 近接場光相互作用によるトンネルエネルギー …… 181
6.2.3 トンネルエネルギーのアンギュラースペクトル …… 186
6.2.4 散逸とトンネルエネルギー …… 187

付 録 —— 191

A.1 平面境界での反射係数と透過係数 …… 191
A.1.1 平面境界での反射係数と透過係数に関する関係式 …… 191
A.1.2 誘電体媒質と真空からなる半空間での反射係数と透過係数 …… 194
A.2 トリプレットモード関数の直交関係 …… 198

A.3 ディテクタモード関数の直交関係 …… 204
A.4 トリプレットモード関数の外積に関する積分関係式 …… 205
A.5 ディテクタモード関数の外積に関する積分関係式 …… 208
A.6 3 層空間での多重散乱による反射係数と透過係数 …… 210
A.7 近接場光相互作用によるエネルギーの導出 …… 212
A.7.1 領域 $\mathcal{R}_1$(真空) を流れるエネルギーの導出 …… 212
A.7.2 領域 $\mathcal{R}_2$(金属薄膜) を流れるエネルギーの導出 …… 214
A.7.3 領域 $\mathcal{R}_3$(誘電体媒質) を流れるエネルギーの導出 …… 216

参考文献 …… 219

索 引 …… 223