

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

|                   |                                                                                                                                                                           |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 題目(和文)            | プラズモンのバンド構造及びプラズモニックディラックコーンの理論                                                                                                                                           |
| Title(English)    | Theory of Plasmonic Band Structures and Plasmonic Dirac Cones                                                                                                             |
| 著者(和文)            | 北村有司                                                                                                                                                                      |
| Author(English)   | Yuji Kitamura                                                                                                                                                             |
| 出典(和文)            | 学位:博士（理学）,<br>学位授与機関:東京工業大学,<br>報告番号:甲第9709号,<br>授与年月日:2015年3月26日,<br>学位の種別:課程博士,<br>審査員:村上 修一,西森 秀稔,山本 直紀,西田 祐介,笹本 智弘                                                    |
| Citation(English) | Degree:,<br>Conferring organization: Tokyo Institute of Technology,<br>Report number:甲第9709号,<br>Conferred date:2015/3/26,<br>Degree Type:Course doctor,<br>Examiner:,,,, |
| 学位種別(和文)          | 博士論文                                                                                                                                                                      |
| Category(English) | Doctoral Thesis                                                                                                                                                           |
| 種別(和文)            | 審査の要旨                                                                                                                                                                     |
| Type(English)     | Exam Summary                                                                                                                                                              |

## 論文審査の要旨及び審査員

| 報告番号        | 甲第  | 号     | 学位申請者氏名 | 北村 有司 |       |     |
|-------------|-----|-------|---------|-------|-------|-----|
| 論文審査<br>審査員 |     | 氏 名   | 職 名     |       | 氏 名   | 職 名 |
|             | 主査  | 村上 修一 | 教授      | 審査員   | 笹本 智弘 | 准教授 |
|             | 審査員 | 西森 秀稔 | 教授      |       |       |     |
|             |     | 山本 直紀 | 准教授     |       |       |     |
|             |     | 西田 祐介 | 准教授     |       |       |     |

## 論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Theory of Plasmonic Band Structures and Plasmonic Dirac Cones」と題し、5章と付録よりなる。

第1章「Introduction」ではプラズモン、メタマテリアルに関する研究背景を解説している。系に微細加工を加え電磁場の伝搬を制御するメタマテリアルに関し歴史的背景を説明した後、表面プラズモンに関する研究の動向について解説している。特に金属表面に凹凸のあるプラズモニック結晶でのバンド構造の先行研究について紹介し、今までは主に数値計算に依存しており、解析的な理論に基づくバンド理論の基礎的理解が不十分であることを指摘している。さらに電子系やフォトン系における量子ホール系の実現について解説し、プラズモン系でも類似の効果が期待されることを述べ、最後に本論文の全体を概観している。

第2章「Background of the Research」では、プラズモンに関する先行研究のうち本博士論文に関係の深いものについて解説を行っている。媒質に人工的に周期性を導入して光の伝搬を制御するフォトリソニック結晶について説明し、そこでの量子ホール効果の実現に関する理論について解説している。さらに表面プラズモンの基礎的性質から、表面プラズモンのスペクトルの計算方法、磁気光学効果について詳しく述べている。

第3章「Theory of One-dimensional Plasmonic Crystals」では、金属表面に凹凸のある1次元プラズモニック結晶に関するバンド理論の構築を行っている。最初に金属表面の凹凸が小さい場合に摂動論を構築する際に起こる困難について述べている。続いて、摂動論を用いた先行研究を紹介し、それがエルミート性や摂動展開の次数の制御の点で持つ問題を指摘している。それを踏まえて改めてプラズモニック結晶のバンド構造の理論を構築している。摂動論に伴う問題を回避するため、まず凹凸のある金属表面を平坦面に変換するような座標変換を導入している。それにより、系のプラズモン固有モードは平面波同士の重ね合わせとして表されることを示し、特にブリルアンゾーン境界で二波近似を導入することで、ゾーン境界でプラズモニックバンドにギャップが開くことを示している。ここで導かれた固有方程式は、真空のライトコーンの外側にあるプラズモンモードについてはエルミートになり、内側については非エルミートとなることが見いだされ、これはプラズモンモードが真空中へ放射するかどうかと対応していることを指摘している。またゾーン境界でのモードの電磁場分布や、またモードの分散を計算して、物理的に予想されるものとよく一致していることを示し、また数値シミュレーションも行っておりその結果との対応も確かめている。

第4章「Two-dimensional Plasmonic Crystals」では、前章の手法を、三角格子をなす2次元プラズモニック結晶に適用している。特にブリルアンゾーン角のK点では3つの平面波が混成することが分かり、その混成の結果、2重縮退したモードと縮退のない1つのモードとに分裂することを見いだしている。これらのモードでの電磁場分布も計算し、またこのモードが群論からの予想とも一致していることを指摘している。さらにブリルアンゾーン角のK点から少し離れた波数での固有モードの分散を $k \cdot p$ 摂動の手法を用いて計算し、K点周りでディラックコーンと呼ばれる線形分散をなしていることを示している。この線形分散については数値シミュレーションでも確認している。次に磁性体をプラズモニック結晶に導入して磁気光学効果を考慮した場合について議論している。この場合のマグネトプラズモンに関して、ディラックコーンの頂点にギャップが開くことが示され、さらにそれが群論の予想と一致していることを指摘しており、数値シミュレーションの結果もその正しさを示している。さらにギャップが開くとそこでベリー曲率が有限になり、面に垂直な磁場に対してチャーン数が+1ないし-1の量子ホール系が実現することを理論的に示し、その実験での実現方法についても提案している。

第5章「Discussion and Conclusion」では、論文の全体を概観し今後の展望について述べている。

付録「Appendix」では、論文中で使われる計算の詳細について丁寧に説明している。

以上をまとめると、本論文では、金属表面に凹凸をつけたプラズモニック結晶におけるプラズモンバンド構造の基礎理論を展開している。先行研究と異なり制御された形で摂動論を展開し、固体での電子のバンド構造と同じレベルのバンド理論を打ち立てることに初めて成功し、さらにそれを用いて、量子ホール効果と同様の状態が磁場中の三角格子プラズモニック結晶上で実現されることを理論的に見いだした。さらに解析的に構築した理論の妥当性を数値シミュレーションで確かめている。すなわち、プラズモニック結晶のバンド理論に関して、解析的手法に基づく基礎理論をうちたててに至った本論文は、理学の発展に大いに資するものと判定される。よって本論文は博士（理学）の学位論文として十分価値があると認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

