

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）, 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第9709号, 授与年月日:2015年3月26日, 学位の種別:課程博士, 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:, Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9709号, Conferred date:2015/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	要約
Type(English)	Outline

本論文は1次元及び2次元のプラズモニック結晶において、表面プラズモンポラリトンのバンド構造を解析的な理論から基礎づけを行う事を目的としている。第1章ではプラズモン、メタマテリアルに関する研究背景を解説する。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する。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が指摘される。さらに電子系や光子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する。

第2章では、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する。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する。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る。

第3章では、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う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が指摘される。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する。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する。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、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す。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。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なってその結果との対応も確かめる。

第4章では、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する。特にブリルアンゾーン角の $\mathbf{K}$ 点では3個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される。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が指摘される。さらにブリルアンゾーン角の $\mathbf{K}$ 点から少し離れた波数での固有モードの分散を $\mathbf{k} \cdot \mathbf{p}$ 摂動の手法を用いて計算し、 $\mathbf{K}$ 点周りでディラックコーンと呼ばれる線形分散をなすことが示される。また、この線形分散はシミュレーションにおいても存在が確認される。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する。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一致している。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する。最後に、第5章では論文の全体を概観し今後の展望について述べる。

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する。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。これらの研究成果は、プラズモニック結晶における新奇現象の解明において有用である事を期待できる。