

論文審査の要旨

| | | | |
|--|----------------|--------------------------|-------|
| 博士の専攻分野の名称 | 博 士 (工 学) | 氏名 | 吉 川 遼 |
| 学位授与の要件 | 学位規則第4条第①・2項該当 | | |
| 論 文 題 目 Theoretical study on peculiar optical responses in metal grating (金属グレーティングにおける特異な光学応答の理論的研究) | | | |
| 論文審査担当者 | | | |
| 主 査 | 教 授 | 角 屋 豊 | 印 |
| 審査委員 | 教 授 | 高 根 美 武 | 印 |
| 審査委員 | 教 授 | 東 清一郎 | 印 |
| 審査委員 | 准 教 授 | 西 田 宗 弘 | 印 |
| 審査委員 | 准 教 授 | HOFMANN HOLGER FRIEDRICH | 印 |
| 〔論文審査の要旨〕 (内容) | | | |
| <p>本論文は金属グレーティングにおける特異な光学応答を調べた申請者の研究をまとめたものである。金属グレーティングは古くから用いられている光学素子で、回折格子、カプラー、表面プラズモンセンサーなど、多くの重要な応用がある。一方で、「Wood's アノマリ」(1902年)や「異常透過」(1998年)など、様々な特異な光学応答を示すことも知られている。構造の単純さとは対照的に、これらの特異な光学応答のメカニズムは複雑であり、ごく最近に至るまで議論が続いた。著者は、応用上特に重要な、半導体などの基板上および誘電体導波路上に設置された金属グレーティングに注目し、上記アノマリの解析に加え、連続準位中束縛状態 (bound states in the continuum, BIC) や例外点 (exceptional point, EP) の発見と解析、および制御方法の提案を行った。BIC とは外部へのエネルギー放射が存在する系におけるエネルギー散逸のない固有モードである。また EP はエネルギー散逸がある系のモード間結合において、2個の異なる固有モードが1個になる特異的な点である。これらは非エルミート系における代表的な光学応答としての物理学的な興味、またナノレーザー、センサー、波長変換素子、光ネットワーク素子などのデバイス応用への期待から、国内外で研究が活発化している。</p> <p>第1章では、研究の背景と目的が述べられている。</p> <p>第2章では、用いられた解析手法 (空間的結合モード法、時間的結合モード法) が説明されている。</p> <p>第3章では、透過スペクトル上のアノマリに基板の存在が及ぼす影響を調べた結果などが述べられている。グレーティング厚さに依存してシフトする透過スペクトル上のピークが系の束縛モードに対応すること、束縛モードはグレーティングのスリットにおけるファ</p> | | | |

ブリ・ペロー共鳴に対応し、グレーティングを薄くすると短波長側にシフトすること、束縛モードがグレーティング波長よりも短波長化すると放射化して消滅し、これに対応してスペクトル上に現れるピークも消滅することなどが明らかにされた。さらに、束縛モードの消滅はグレーティング上下の誘電率が等しい場合には起こらず、構造の非対称性が強い場合に生じる特徴であることも明らかにされた。

第4章と第5章では、誘電体導波路上に配置した金属グレーティングにおけるBICとEPについて述べられている。本論文で扱われている系では、導波路内の2個の伝搬モードが固有モードとなっており、それらがグレーティングによって内部結合した結果、分散関係が反交差を示す。

第4章では、放射の消失がBICであることの確認の後、入射電場がグレーティング溝に垂直な場合(P波)にBICが低周波側のブランチに生じるのに対し、入射電場が溝に平行な場合(S波)は高周波側のブランチに発生することが述べられている。BICの出現ブランチは、関与する2モード間の結合位相と、各モードと外界との結合位相の差によって決まっていることが明らかにされた。

第5章では、P波入射の場合において、グレーティング厚さによって反交差ギャップを変化させ得ること、またギャップが閉じる前後でBICの出現ブランチが逆転する事が述べられている。またこの場合も、BICが出現するブランチが結合位相によって決まっていることや、ギャップのグレーティング厚さ依存性はスリット内のファブリ・ペロー共鳴で理解できることも明らかされた。さらに、時間的結合モード方程式を用いて、ある特定のグレーティング厚さにおいてEPが存在することが予測され、予想通りEPが発現することが電磁場解析によって示された。反交差ギャップの変化がスリット内のファブリ・ペロー共鳴で説明できることから、ファブリ・ペロー共鳴条件を変えるだけでEPやBICを制御可能であることが提案された。これにより、高感度センサーや、電圧による高速変調が可能な新機能光デバイスの実現が期待される。

第6章では、これらのまとめと今後の展望が述べられている。

以上のように、本論文の著者は、応用上も重要な半導体等の基板上および誘電体導波路上の金属グレーティングにおける特異な光学応答に関して、BIC出現ブランチの選択などの重要な発見と詳細な解析を行い、さらに制御方法の提案を行った。これらの成果は、光学や非エルミート物理学などにおける学術上の重要性に加え、光学素子の高性能化と高機能化につながる工学上の大きな意義を有している。

以上より、審査委員一同は、本論文が博士(工学)の学位を授与するに十分な内容であると判定した。

備考 審査の要旨は、1,500字程度とする。