

# 学位審査報告書

(ふりがな) 氏名	おおい かずふみ 大井 万史
学位(専攻分野)	博士(理学)
学位記番号	理博第 号
学位授与の日付	平成 年 月 日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	理学研究科 物理学・宇宙物理学専攻
(学位論文題目)	金属周期構造上の表面モードを用いた 電磁場誘起透明化現象の古典アナロジー
論文調査委員	(主査) 中 暢子 准教授 金光 義彦 教授 前野 悦輝 教授

理学研究科

( 続紙 1 )

京都大学	博士 (理学)	氏名	大井 万史
論文題目	金属周期構造上の表面モードを用いた電磁場誘起透明化現象の古典アナロジー		
(論文内容の要旨)			
<p>電磁場誘起透明化現象と類似の光学応答を示す金属構造は、光パルスに群速度遅延を付ける、すなわち、光パルスを遅くすることが出来るため、近年注目を集めている。しかし、従来までに提案されてきた電磁場誘起透明化現象と類似の光学応答を示す金属構造は概して複雑であり、その光学応答を Maxwell 方程式から直接求めることは出来なかった。このため、これらの系の光学応答は単純なモデルとの類推、あるいは定性的な議論により理解されてきていた。しかし、このような単純なモデルとの類推がどこまでの一般性を持ちうるものなのか、あるいは、個々の金属構造における透明化現象発現のメカニズムの詳細がどの様になっているのか、などの問題をきちんと議論するためには、Maxwell 方程式に立ち戻っての議論が可能なモデルが必要である。</p> <p>本論文は、このような Maxwell 方程式に立ち戻っての解析が可能な、電磁場誘起透明化現象と類似の光学応答を示す金属構造を初めて提案したものである。具体的には、周期構造を持つ 2 枚の金属板がプリズム結合により励起された場合に現れる電磁場誘起透明化現象と類似の光学応答に関し、その発現メカニズムを解析計算により明らかにしている。また、透明化発現のメカニズムを、解析的に解かれた電磁場分布の対称性を用いて明らかにしている。</p> <p>本論文で提案された電磁場誘起透明化現象と類似の光学応答を示す金属構造は、プリズム結合により励起される 2 層の完全導体 slit array 構造であるが、このような周期構造を持つ完全導体には、電磁場分布がその表面に局在した表面束縛モード (spoof surface plasmon) が存在することが指摘されている。本論文ではまず、2 層 slit array 構造における表面束縛モードの分散関係の計算結果が示され、2 層 slit array 構造上に、1 層 slit array 構造上の表面束縛モードの結合状態と反結合状態に対応する、対称モードおよび反対称モードが存在することが示されている。次に、対称モードと反対称モードの電磁場分布の対称性、および、プリズムの存在による境界条件に関する議論が行われ、それらと解析計算により得られた光学応答スペクトルの形とを比較することにより、電磁場誘起透明化現象と類似の光学応答が発現する物理的なメカニズムが明示されている。さらに、電磁場誘起透明化現象と類似の光学応答を発現するその他の古典系と、本論文により提案された系との類似性および相違点を議論するために、結合共振器誘起透明化現象を示す系と本論文により提案された系の関係性が議論されている。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

電磁場誘起透明化現象は 3 準位の量子系がコヒーレンスの干渉効果により透明化する現象であるが、近年、この電磁場誘起透明化現象と類似の光学応答を古典的な共鳴状態の干渉効果により実現しようという試みが行われ始めている。これは、電磁場誘起透明化現象と類似の光学応答が実現されると、透明化が起こる（光吸収の無い）周波数領域において光パルスの遅延が起こり、ロスのない光パルス遅延素子を実現できるためである。このような電磁場誘起透明化現象と類似の光学応答を古典的に実現するための方法として、現在までに、数種の金属構造が提案されている。しかし、これまでに提案されてきた金属構造はその構造が複雑であったため、光学応答および透明化発現のメカニズムについては、単純なモデルとの類推あるいは定性的な議論により理解されてきた。しかしながら、この様な単純なモデルとの類推がどこまでの妥当性を持つものなのかは明らかにされていない。

本論文では電磁場誘起透明化現象と類似の光学応答を示す金属構造の中で、光学応答が単純なモデルを経由せずに Maxwell 方程式より直接計算可能なものを初めて提案している。さらに、透明化発現のメカニズムを、解析的に計算された表面束縛モードの電磁場分布の対称性にに基づき表面束縛モードの干渉効果として明確に示している点が、従来までの研究とは異なっている。一方、本論文で透明化発現のメカニズムを理解するために考察されている完全導体周期構造上の表面束縛モードは、テラヘルツ電磁波技術における光閉じ込めや伝搬制御への応用が期待され、その物理的特性に注目が集まっているものである。この様な表面束縛モードの干渉効果を解析的に明らかにしたのは本論文が初めてであり、この点においても高く評価される。

表面束縛モードは本来、プリズム結合、あるいはナイフエッジ法といった特殊な励起方法を用いなければ励起することが出来ないが、従来の研究では表面束縛モードの特性のみを扱ったものが主であり励起過程の詳細は議論されてこなかった。しかし、本論文では励起過程まで含めた表面束縛モードの光学応答が解析的に計算されており、プリズム結合により表面束縛モードを励起した時に現れる電磁波における Fano 干渉の発現メカニズムが明らかにされている点も、これまでの研究とは異なるところである。

以上のように、本論文では電磁場誘起透明化現象と類似の光学応答を示す金属構造の中で、光学応答が解析的に計算可能なものを初めて提案した。また、光学スペクトルを計算したのみならず、その光学応答の物理的起源を完全導体上の表面束縛モードの干渉効果という概念を用いて明らかにすることにより、電磁場誘起透明化現象の古典アナロジーに関する研究と金属表面上の表面束縛モードに関する研究を関連付けることに成功している。この完全導体表面上の表面束縛モードの電磁場分布および分散関係に関する研究は、金属の光学的性質が実効的に完全導体と近似できるテラヘルツ周波数以下の低周波領域における光制御、あるいは光学素子作成の手段としても注目を集めるものと期待される。また、表面束縛モードを用いたテラヘルツ光制御に関

する研究の現在の旺盛を考えると、表面束縛モードを用いて量子系とのアナロジーから新規光学応答を発現させる、といった研究が今後も数多く行われることが予想される。本研究は、そのような研究の先駆けと位置づけられ大きな意義を持つものである。よって、本論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。

また、平成 24 年 1 月 12 日に論文内容とそれに関連した口頭試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公開可能日： \_\_\_\_\_ 年 \_\_\_\_\_ 月 \_\_\_\_\_ 日以降