

Title	Mechanisms of enhanced light-matter interaction beyond long wave-length regime
Author(s)	井川, 智恵
Citation	
Issue Date	
Text Version	none
URL	http://hdl.handle.net/11094/43520
DOI	
rights	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/repo/ouka/all/>

氏名	井川 智 憲
博士の専攻分野の名称	博士(理学)
学位記番号	第 17143 号
学位授与年月日	平成14年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 基礎工学研究科物理系専攻
学位論文名	“Mechanisms of enhanced light-matter interaction beyond long wavelength regime” (長波長近似領域外での輻射場と物質の相互作用増強機構)
論文審査委員	(主査) 教授 張 紀久夫 (副査) 教授 鈴木 直 教授 那須 三郎

論文内容の要旨

本論文では、物質状態の量子力学的コヒーレンスにより、光とナノ物質の相互作用強度が試料のサイズ・配列・形状にどのように依存するかを理論的に考察した。その手法としては張研究室において近年整備されてきた微視的非局所応答理論を用い、時間・振動数領域の応答信号や内部電場の振動数・場所依存性、および無限周期の極限におけるフォトニックバンド分散曲線等を計算した。特に、この理論の枠組みの中で第一原理的に定義されている輻射補正項(シフト・幅)が、長波長近似の有無に拘わらず、相互作用強度の目安として有効であることを活用した。数値計算のモデルとしては、単位構造(1個の原子、1本の原子線、1枚の原子面または半導体量子井戸)をN個考えて、共鳴波長に対するブラッグ回折条件で1次元配列したものを扱った。原子鎖と原子面ではN=1でも既に相互作用強度の増強があるが、N個のブラッグ配列によりさらなる super enhancement 効果のあることがわかった。N枚の原子面(または量子井戸)をブラッグ配列した系では反射強度の振動数・時間依存性を計算して、Nの小さいときに超放射モード、Nの大きいときにフォトニックギャップ、という見かけ上相反する応答が現れることを示した。その移り変わりが「輻射補正項の振動数依存性を無視できる場合(N小)から無視できない場合(N大)への変遷」によることを明らかにして、従来放置されていた物理的描像の不備を完全な形に描き直した。また、フォトニックバンドについては、ギャップの中に実波数のギャップモードが存在することと、それに対応する信号として、N有限の系で反射スペクトルの完全反射域に極めて鋭い窪みの列が存在することを初めて示した。さらに、これらの窪みの振動数における内部電場が定在波を作っていることを示して、完全反射域の減衰波ではなく、ギャップモードの進行波とよく対応することを明らかにした。

論文審査の結果の要旨

本論文では、物質状態の量子力学的コヒーレンスにより、光とナノ物質の相互作用強度が試料のサイズ・配列・形状にどのように依存するかを理論的に考察した。その手法としては張研究室において近年整備されてきた微視的非局所応答理論を用い、時間・振動数領域の応答信号や内部電場の振動数・場所依存性、および無限周期の極限におけるフォトニックバンド分散曲線等を計算した。特に、この理論の枠組みの中で第一原理的に定義されている輻射補正項

(シフト・幅)が、長波長近似の有無に拘わらず、相互作用強度の目安として有効であることを活用した。数値計算のモデルとしては、単位構造(1個の原子、1本の原子線、1枚の原子面または半導体量子井戸)を N 個考えて、共鳴波長に対するブラッグ回折条件で1次元配列したものを扱った。原子鎖と原子面では $N=1$ でも既に相互作用強度の増強があるが、 N 個のブラッグ配列によりさらなる super enhancement 効果のあることがわかった。 N 枚の原子面(または量子井戸)をブラッグ配列した系では反射強度の振動数・時間依存性を計算して、 N の小さいときに超放射モード、 N の大きいときにフォトニックギャップ、という見かけ上相反する応答が現れることを示した。その移り変わりが「輻射補正項の振動数依存性を無視できる場合(N 小)から無視できない場合(N 大)への変遷」によることを明らかにして、従来放置されていた物理的描像の不備を完全な形に描き直した。また、フォトニックバンドについては、ギャップの中に実波数のギャップモードが存在することと、それに対応する信号として、 N 有限の系で反射スペクトルの完全反射域に極めて鋭い窪みの列が存在することを初めて示した。さらに、これらの窪みの振動数における内部電場が定在波を作っていることを示して、完全反射域の減衰波ではなく、ギャップモードの進行波とよく対応することを明らかにした。

以上のように、本論文は、長波長近似を超えた領域における光と物質の相互作用の増強機構とサイズ依存性について新しい成果を得ており、輻射補正の振動数依存性というキーワードにより従来困難であった問題の解決に成功した。これは光学応答の基礎理論として重要な意味を持っている。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。