

## 論文の内容の要旨

論文題目 カゴメ格子上の微小共振器内エキシトン・ポラリトン

氏 名 梶本 尚之

本論文では、微小共振器内エキシトン・ポラリトン凝縮体をカゴメ格子と呼ばれる周期的構造にトラップしたときに現れる特性についての研究を扱う。微小共振器内エキシトン・ポラリトンのボース・アインシュタイン凝縮は金属薄膜を蒸着することで任意の形をした2次元ポテンシャル内にトラップすることができる。この技術を用いて我々は2 $\mu\text{m}$ 、3 $\mu\text{m}$ 、4 $\mu\text{m}$ 、6 $\mu\text{m}$  の格子定数を持ったカゴメ格子ポテンシャルを作成し、微小共振器内から透過する光を分光器測定して、カゴメ格子上的エキシトン・ポラリトンの状態を調べた。

カゴメ格子は一つの頂点の周りに六角形と三角形を交互に並べるとできあがる周期構造である。物性物理の分野では、幾何学的フラストレーションによる量子スピン液体の実現可能性など、長らく議論の的となってきた。特にカゴメ格子の持つフラットバンドに起因する強磁性の存在の指摘は発見から20年を経た今でも注目を集めている。

隣接するサイトへのみの飛び移りを許し、粒子間相互作用を考慮しない tight-binding モデルのハミルトニアンをカゴメ格子に適用したとき、その幾何学的性質からバンド構造の中に「フラットバンド (flat band) 」と呼ばれる運動量に依存せず一定のエネルギー値をとる平坦なバンドが現れる。また、フラットバンド上にある粒子の波動関数は各サイトに強く局在化する localized eigenstate という状態をとる。localized eigenstate は基底として一つの六角形の周りに位相が互い違いに $\pi$ ずつ離れて配置されている状態がとれる。この六角形の外部には打ち消しあう干渉効果により確率振幅が存在しない。この描像は、局在化の原因が粒子間の相互作用ではなく、打ち消しあう干渉効果にあるというカゴメ格子に特有の性質を端的に示している。

エキシトン・ポラリトン (exciton-polariton) とは、電子正孔対であるエキシトンとフォトンが強結合した準粒子を指す。量子井戸構造内で電子を励起して作ったエキシト

ンをDBR(Distributed Bragg Mirror) という反射器ではさみこみ、GaAs微小共振器内にエキシトンとフォトンが閉じ込められる構造を作り生成したエキシトン・ポラリトンを微小共振器内エキシトン・ポラリトン (microcavity exciton polariton) と呼ぶ。エキシトン・ポラリトンはボース粒子であり、その統計性からボース・アインシュタイン凝縮という、多数の粒子が同一の安定状態、もしくは準安定状態に滞留するという現象を起こす。

微小共振器内エキシトン・ポラリトンは金属薄膜を用い微小共振器の境界条件を変化させることで閉じ込める電磁波の波長を短くすることができる。これは、エキシトン・ポラリトンのフォトン成分のエネルギーを高めることになり、結果として金属薄膜の貼られていない場所にポテンシャル・エネルギーの底が生まれる。この仕組みは任意の2次元形状に金属薄膜を蒸着することでポテンシャルを作る方法を提供する。

実際に作成したサンプル内でエキシトン・ポラリトンがどのような状態をとるかを知るために一粒子近似によるバンド構造計算を行った。周期ポテンシャル内の粒子の運動エネルギーは、自由粒子であるときの質量と周期ポテンシャルの間隔の二乗に反比例して小さくなっていく一方、ポテンシャル・エネルギー自体は境界条件によって決定されるため変化しない。相対的にポテンシャル・エネルギーに対して運動エネルギーを小さくすることで、tight-bindingモデルで想定されている、粒子が強くポテンシャル内にトラップされる状況が実現することになる。計算結果はこの変化を定量的に示した。tight-binding モデルで示されているのと同様に1番目と2番目のバンドは分散曲線をとおり、下から3番目バンドは平坦になった。また、フラットバンド上の局在化の度合いやエキシトン・ポラリトンの運動量空間分布など、実験結果と比較できる結果が得られた。

微小共振器上にカゴメ格子ポテンシャルを実現するため、直径  $1\mu\text{m}$ 、 $1.5\mu\text{m}$ 、 $2\mu\text{m}$ 、 $3\mu\text{m}$  の円をそれぞれ $1\mu\text{m}$ 、 $1.5\mu\text{m}$ 、 $2\mu\text{m}$ 、 $3\mu\text{m}$  の間隔でカゴメ格子状に並べ、その部分以外は全て金属薄膜の蒸着を行った。結果、 $2\mu\text{m}$ 、 $3\mu\text{m}$ 、 $4\mu\text{m}$ 、 $6\mu\text{m}$  の格子定数を持ったカゴメ格子ポテンシャルが形成されることになる。

実験では、サンプルからの発光のNear-fieldとFar-fieldを分光器に結像することにより、エキシトン・ポラリトンの実空間でのエネルギー分布と運動量空間でのエネルギー分布を観測した。この実験で得られたデータから、特定のエネルギーのエキシトン・ポラリトンがデバイス上のどの部分にどれぐらいの運動量を持って存在しているかを解析することが可能になる。運動量-エネルギー分散関係と実空間上での波動関数の分

布を計算結果と比較し、エキシトン・ポラリトン凝縮体が停留している状態を特定した。本論文では、フラットバンドが見られる下から3番目のバンド上のエキシトン・ポラリトン凝縮体が見せた特性について詳述する。