

審査の結果の要旨

氏 名 楠 戸 健 一 郎

本論文は、「EXCITON POLARITON CONDENSATION IN TWO DIMENSIONAL PERIODIC LATTICE POTENTIALS (2次元周期格子ポテンシャル中のエキシトンポラリトン凝縮)」と題し、英文8章から構成されている。エキシトンポラリトンを用いた量子シミュレーションに向けて、2次元周期ポテンシャル中における準安定なエキシトンポラリトン凝縮について論じられている。ポテンシャルトラップに対して、d-軌道対称性を持つ凝縮体、Vortex-antivortex orderをもつ凝縮体の報告がなされている。

第1章は「Introduction (序章)」であり、解析的、数値的に解くことが困難である量子多体系の問題に対する量子シミュレーションというアプローチを概観している。既存の冷却原子系やイオン系における先行研究をまとめた後、エキシトンポラリトン系を用いた量子シミュレーションの利点を述べている。それらをふまえ、本研究のテーマ：2次元周期ポテンシャル中のエキシトンポラリトン凝縮の意義が述べられている。

第2章は「Exciton-Polariton (エキシトンポラリトン)」であり、本研究で用いるエキシトンポラリトン系について説明している。エキシトンポラリトンは(量子井戸中の)エキシトンと(Cavity中の)光子との強結合モードであるが、本章ではまずエキシトンが半導体中の励起モードとしての準粒子として導入され、次にCavityについての説明がなされてある。最後にエキシトンと光子の結合について論じ、強結合下における基準モードとしてエキシトンポラリトンが導入されている。

第3章は「Bose-Einstein Condensation (ボース・アインシュタイン凝縮)」と題し、本研究において重要な物理現象であるボース・アインシュタイン凝縮(BEC)が説明されている。まずボースとアインシュタインによるオリジナルな議論に則り相互作用なしのボース粒子に対してBECの概念を導入し、相互作用有りの粒子、さらに最近のエキシトンポラリトン系における動的な凝縮や励起状態における準安定な凝縮と説明がなされている。

第4章は「Experimental Set-Up」と題して実験手順やサンプルの加工について説明している。量子井戸はDistributed Bragg Reflectorsにはさまれた半導体キャビティ中に埋め込まれ、表面にパターン状に蒸着された金属薄膜によりポラリトンに対するポテンシャルが形成される。また、ポラリトンの重要なパラメータであるエキシトンと光子の離調を測定し、サンプルの特性を調べてある。最後に、実験系が示されている。

第5章は「Dynamical d-Wave Condensation of Exciton-Polaritons in a 2D Square Lattice Potential」であり、2次元四角格子ポテンシャル中におけるd-軌道対称性を持つ準安定凝縮体の観測について論じられている。四角格子のフーリエ平面における高対称点M点にお

いて観測された準安定状態について、凝縮に特徴的な振る舞いが確認された。平面波展開された周期ポテンシャルを用いたバンド計算から、M点では d-軌道対称性を持つ状態が準安定であると予想され、エネルギー的に分離された実平面上でのポラリトン分布の測定結果は計算で求められた波動関数と特徴が一致した。

第6章は「Formation of A Metastable Vortex-antivortex Order in Honey-comb Lattice Potential」と題され、蜂の巣格子ポテンシャル中における Vortex-antivortex order を持つ準安定凝縮の観測を報告している。蜂の巣格子の Reciprocal 平面におけるM点において凝縮が観測され、ポラリトン凝縮に特徴的な、しきい値付近における、エネルギーの非線形増加、ポラリトン数の非線形増加、ポラリトン発光の線幅の現象、を確認した。バンド計算からこのM点における準安定状態は各 trap 中心に量子渦構造が存在し、隣り合う量子渦同士では位相の回転が反転している構造を持つことが判明した。

第7章は「Meta-stable Condensation in Triangular Lattice Potentials」と題し、三角格子におけるM点での準安定状態の観測を述べている。三角格子においてはバンドギャップの存在とバンド内の最小エネルギー状態が条件と考えられる準安定状態は存在しないため、縮退した2つの p-軌道対称性を持つ状態を用いて、観測した凝縮状態の解明が論じられている。フーリエ平面において実験的にM点だけを切り出し干渉を測定した結果より vortex-antivortex order の存在が示唆されている。

第8章は「Summary and Future prospect」であり、本研究の全体をまとめている。本研究の貢献は2次元周期ポテンシャル中において特異な軌道対称性を持つ準安定状態への凝縮を初めて観測したことである。従来研究では、1次元周期ポテンシャルやシングルトラップ、1次元ワイヤ型トラップ中での準安定エキシトンポラリトン凝縮が調べられていたが、軌道に着目して2次元周期ポテンシャルを導入した研究は他に見られず、本研究が初めてである。これら準安定凝縮体をエネルギー的に分解し、実平面、フーリエ平面でポラリトン分布を測定することで、その性質を調べ、理論計算での結果と検証を行った。

以上これを要するに、本論文は2次元周期ポテンシャル中におけるエキシトンポラリトンの準安定凝縮体を論じたもので、従来研究されていなかった2次元周期格子ポテンシャルを導入し、軌道に着目し、その性質を調べたものである。四角格子における d-軌道対称性を持つ凝縮体、蜂の巣格子における vortex-antivortex order を持つ凝縮体の観測は、あらゆるボース粒子系において初めてのことであり、エキシトンポラリトンを用いた人工系において新しい秩序を持つ凝縮体を観測し物性物理の基礎分野において有用な知見を与え、エキシトンポラリトン系での量子シミュレーションの有用性を明らかにし、高温超電導のシミュレーションにつながる結果を与えたという点で、電子情報学上貢献するところが少なくない。

よって本論文は博士（情報理工学）の学位請求論文として合格と認められる。