

## 審査の結果の要旨

氏 名 石田 夏子

本論文は、「PHOTOLUMINESCENCE OF HIGH DENSITY EXCITON POLARITON CONDENSATES (高励起領域における励起子ポラリトン凝縮体のフォトルミネッセンス)」と題し、英文7章から構成されている。励起子ポラリトンの低密度領域のボーズ・アインシュタイン凝縮相 (BEC) から高密度領域のバーディーン・クーパー・シュリーファー凝縮相 (BCS) へのクロスオーバーを示唆するフォトルミネッセンスの変化が論じられている。

第1章は「Introduction (序章)」であり、励起子ポラリトン系はモット遷移密度を境に、低密度領域のBEC相から高密度領域のBCS相へのクロスオーバーを示すと考えられるが、これが本論文の主テーマであることが述べられている。そして、このクロスオーバーを実証する重要な特性の一つに、フォトルミネッセンスに現われるMollow tripletに似た3本に分裂した発光スペクトルがある、と指摘している。

第2章は「Theoretical background (理論的背景)」であり、まず弱い相互作用を有するボーズ粒子の凝縮相の摂動論 (Bogoliubov理論) が導出され、励起スペクトルが論じられている。続いて、平均場に対する運動方程式 (Gross-Pitaevskii方程式) が導出され、励起子ポラリトンのBEC相の特徴が論じられている。更に、低密度領域では、上方と下方ポラリトンの2本に分裂していた発光スペクトルが、高密度領域では、共振器共鳴線を中心とする3本に分裂したMollow triplet様の発光スペクトルへ変化していくことが指摘されている。そして、この発光スペクトルの変化がBEC-BCSクロスオーバーの証拠であることを述べている。

第3章は「Experimental methods (実験手法)」であり、GaAsの多層 (12層) 量子井戸を埋め込んだプレーナ・マイクロ共振器を液体ヘリウム・クライオスタット中にマウントし、これをモード同期チタン・サファイア・レーザーで非共鳴励起 (バンド端以上のエネルギーのフォトンで励起) することにより、励起子ポラリトン凝縮体を形成できることが述べられている。測定系は、発光のニアフィールドとファーフィールド面をストリーク・カメラ上もしくはCCDスペクトロメータ上に結像することにより、光子のエネルギー対位置または運動量を時間積分・時間分解して測定できることが述べられている。

第4章は「Phenomenological approach via exact diagonalization (厳密対角化に

よる現象論)」であり、多数の2準位原子と単一モードフィールドが共鳴強結合をした場合の正規モードを結合ハミルトニアンに対角化から求め、更にn励起ダブレットから(n-1)励起ダブレットへの遷移を摂動として取り入れ発光スペクトルを計算している。その結果は、予想通り、低密度領域では励起子ポラリトン分裂（2本の発光線）、高密度領域ではMollow triplet（3本の発光線）である。

第5章は「Photoluminescence via the two-time correlation function: Single exciton approximation（2時刻相関関数によるフォトルミネッセンスの計算：単一励起子近似）」であり、単一励起子と単一モードフィールドの共鳴強結合をマスター方程式から厳密に解いている。パルス励起下における2時刻相関関数の時間発展を求め、これをフーリエ変換することにより、発光スペクトルの時間発展を計算している。

第6章は「Photoluminescence via the two-time correlation function: Tavis-Cummings model（2時刻相関関数によるフォトルミネッセンスの計算：多数の励起子モデル）」であり、第5章の計算手法を多数の励起子の場合へ拡張している。特に、パルス励起下の発光スペクトルの時間変化の計算結果を、ストリーク・カメラを用いた実験結果と比較し、両者の一致を確認している。

第7章は「Conclusion（結論）」であり、励起子ポラリトン凝縮体のBEC-BCSクロスオーバーを、発光スペクトルの変化から確認することができることを理論的に明らかにした、と結論している。

以上これを要するに、本論文は励起子ポラリトン凝縮相のBEC-BCSクロスオーバーを論じたもので、フォトルミネッセンスの発光スペクトルの変化から、このクロスオーバーを実証できることを理論的に示し、またこれが実験結果と定性的に良い一致をみたという点で、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。