

計画研究「半導体レーザーの動的電子相関理論」

小川哲生, 上出健仁 (大阪大学大学院理学研究科物理学専攻)

半導体中の電子励起多体状態と光子場との結合系を対象とし、動的電子相関効果を取り入れた量子光学応答理論を構築します。それをレーザー発振や発光過程に適用して、従来の現象論や自由電子近似に代わる新しい半導体レーザー理論体系や発光理論体系を整備します。そのために、下記のテーマを推進しています。

光学利得発生機構と利得スペクトル形状の解明と数値計算

遮蔽ハートリーフォック近似での光学利得形成理論と並んで、自己無撞着T行列近似および動的平均場近似での吸収・利得スペクトルの数値計算を行う。自己エネルギーの虚部の情報から、吸収・利得スペクトルの「幅」や「形状」の起源を解明し、フォノンなどの熱浴による緩和と動的電子相関による「緩和」のダイナミクスの差異を明らかにする。これによって、利得スペクトル形状の起源を解明する。

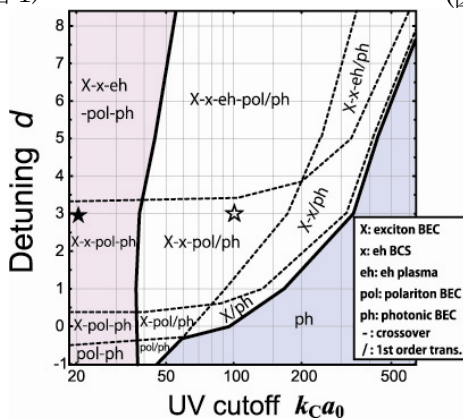
量子化された光子場と結合した半導体Maxwell-Bloch方程式理論の構築

従来のレーザー理論は、二準位原子との結合を仮定したMaxwell-Bloch方程式をその基礎においている。これを2つの方向に拡張する。一つは結合している光子場を量子化すること。他方は物質系を二準位系の集合体から動的電子相関効果が重要な電子正孔系とすること。その第一歩として、遮蔽ハートリーフォック近似を用いる。

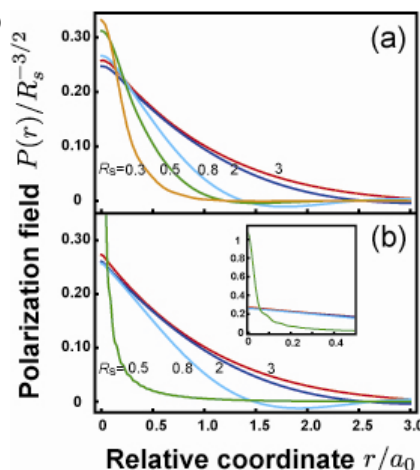
半導体励起子ポラリトン凝縮と励起子-光子クロスオーバーの解明

微小共振器内に作成した半導体構造を光励起することで励起子と閉じ込められた光子とが強く結合し、「励起子ポラリトン」と呼ばれる複合ボース粒子が形成される。この複合粒子がボース・アインシュタイン凝縮(BEC)を起こすと報告された[1]。我々はポラリトン BEC-物質と光が強く相関し相互コヒーレンスを保った状態-が、新たな光子源としてどのような性質を持ちどのような機能を持たせることができるのかを考察している。基底状態の波動関数を平均場近似と内挿法を適用し、光子準位(d : バンド端を基準), 励起密度($\rho=3/(4\pi R_s^3)$), 短距離切断波数($k_c a_0 \sim$ ボア半径/格子定数)などの実験で設定されるパラメータを用い決定した。これにより(I)凝縮体が密度の増加に従い励起子的なものから光学的なものへ変化すること, (II)その変化のシナリオが様々であり図1に示される相図の各領域で異なること, (III)凝縮体の変化に伴い電子正孔対の波動関数が大きく変化すること(図2)を示した[2,3]。

(図1)



(図2)



(図1) パラメータ空間 (光子準位, 切断波数) における相図—ポラリトン凝縮体の、励起子~光子への移り変わりを大別する。

(図2) ポラリトン BEC における電子正孔対の波動関数 (横軸: 相対座標) を様々な密度で示す。(a) $d=3\epsilon_0$, $k_c a_0=20$, (b) $d=3\epsilon_0$, $k_c a_0=100$ 。

[1] J. Kasprzak *et al.*, Nature 443, 449 (2006), [2] K. Kamide, T. Ogawa, arXiv:0912.0977v1, "What determines the wave function of electron-hole pairs in polariton condensates?" [3] K. Kamide, T. Ogawa, to be published in J. Phys. Conf. Ser., "Crossover from excitonic to photonic condensation in microcavity polariton systems."