

光励起状態での相転移と電子相関: 励起子モット転移

Phase transitions and electronic correlations in photoexcited states: Exciton Mott transition

富尾祐, 小川哲生

Yuh Tomio and Tetsuo Ogawa

大阪大学大学院理学研究科

Department of Physics, Osaka University

【目的】: 本研究は、光励起された半導体に形成される電子-正孔系が、どのような量子状態をとるか、この系の相転移が温度や電子-正孔数密度などの条件にどのように依存するか、について理論的側面から基礎的知見を得ることを目的としている。この系は電子-正孔数密度の増加とともに、励起子(あるいは励起子分子)相から電子-正孔プラズマ(液体)相への絶縁体-金属転移、すなわち「励起子モット転移」を起こす。この相転移では、遮蔽効果によって実効的な粒子間相互作用の大きさが変化することが本質的なので、重要な役割を果たす多体クーロン相関効果を十分に取り入れた考察が不可欠である。この研究の知見は、半導体レーザー発振過程においてクーロン相関がどのように効いているか、光励起半導体をとる量子状態によってレーザー動作や光学応答をどのように制御できるか、の応用面でも重要となる。

【研究方法】 励起子モット転移とその前後の金属相及び励起子相を統一的に記述するために、動的平均場理論を用いて解析を行った。動的平均場理論では局所相関を厳密に扱うので、従来の摂動論的手法を越えた議論が可能となる。この系を単純化した2バンドハバード模型を考え、相転移の様子を調べた。

【結果・考察】 電子及び正孔が1/2フィリング(電子-正孔数密度 $n=1$)の場合、電子間(正孔間)斥力 U 及び電子-正孔間引力 U' の平面上において励起子モット転移の相図¹⁾が得られた。ここでは2種類の絶縁体相、モット-ハバ

ード型の絶縁相($U>U'$ の時)と励起子分子的な絶縁相($U<U'$ の時)が現れる。任意のフィリング($n \neq 1$)にすると、モット-ハバード型絶縁相は消えて、新たに励起子相が出現する。 $U=U'$ 及び $n=0.25$ の場合の有限温度相図²⁾を図1に示す。金属相と励起子相との間の相転移は1次転移で共存領域が存在する。ある臨界温度以上では熱励起された2つの相の間のクロスオーバーが見られる。十分低温では励起子のボーズ-アインシュタイン凝縮(BEC)あるいはBCS的な電子-正孔対凝縮が起こると考えられているので、 T 行列近似を用いて計算した電子-正孔対凝縮温度 T_c も併せて図示した(破線)。この相図から、弱相関領域では金属相 \leftrightarrow 電子-正孔 BCS 相の直接的な相転移が、一方、強相関領域では金属相(高温) \leftrightarrow 励起子相 \leftrightarrow 励起子 BEC 相の2段階的な相転移が期待される。

【まとめ・今後の方針】 非摂動論的手法により励起子モット転移の相図を得た。今後は、光学応答を調べ各相の特徴を明らかにする、さらに長距離クーロン相互作用及び動的遮蔽の効果を取り入れて、より現実の物質に即し

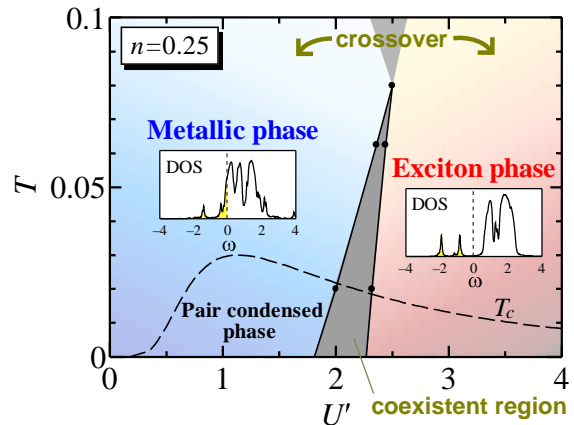


図1. 有限温度相図²⁾。

た解析を進めることで予言性のある理論構築を目指す。

参考文献

- 1) Y. Tomio and T. Ogawa, J. Lumin. 112, 220 (2005).
- 2) Y. Tomio and T. Ogawa, Proceedings of LT24, Florida, USA, 10-17 Aug, 2005.