

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 小埜 和夫

アルカリ原子のボーズ凝縮に関する研究が近年ノーベル賞を受賞するなど、ボーズ凝縮という現象にはその概念の誕生以来、非常に大きな関心が寄せられ、様々な系でその実現と現象の理解への企てがなされてきた。励起子も整数スピンを持つボーズ粒子である。温度や密度などの条件を満たせばボーズ凝縮することが予測され、励起子ボーズ凝縮実現への企ては古くから行われてきたにも関わらず、未だ、その実現を見ない。最近でも、Cu₂Oにおけるパラ励起子や、GaAs/AlAs タイプ II 量子構造における間接型励起子をボーズ凝縮させる試みが積極的に行われている。小埜氏は、CdS/ZnSe タイプ II 量子構造を用いて、励起子ボーズ凝縮実現可能かどうか、また、そこで強磁場という物理環境がどのような役割をするかということについての研究を行った。小埜氏は、この系が、バンドオフセットが大きく励起子寿命が長い点、界面に程よくラフネスを含み、励起子に対するポテンシャルトラップの効果が期待できる点などに着目し、励起子の高密度化と冷却に有利であることを提案した。本論文では、未だはっきりとは解明されていない CdS/ZnSe タイプ II 量子構造における発光起源を解明するとともに、この系におけるボーズ凝縮の可能性について考察を行っている。

発光起源については、励起スペクトル、発光スペクトルの温度依存性、時間分解発光測定などの結果を総合して、界面におけるポテンシャルの揺らぎに局在した励起子による発光の可能性が高いということを実験的に明らかにした。また、励起子局在モデルによるモンテカルロシミュレーションを行うことにより、この系でのヘテロ界面内の局在サイトの分布、局在長、励起子局在過程などミクロな時空間に関する情報を得ることに成功した。時間分解発光測定とその詳細な解析から、励起子が局在サイト間をホッピングしエネルギー緩和している様子を確認し、局在エネルギーの大きなサイトに高密度励起子状態が実現していることを予測した。また、励起子の高密度化が局在サイトの閉じ込めポテンシャルをスクリーニングすることを実験的に示し、局在サイトでの局所励起子密度には上限 ($n=10^8 \text{ cm}^{-2}$ 程度) があり、それ以上の高密度化は不可能であるという知見を得た。

氏は、強磁場が電子相関に強く関与できることに着目し、パルス強磁場による磁気発光測定を系統的に行った。その結果、界面に対して垂直方向に磁場を加えた場合、励起子の重心運動を抑制する効果および面内の励起子広がりを抑制する効果に起因して、前述した励起子による局在サイトでの閉じ込めポテンシャルスクリーニング効果を抑制できること

を見出した。これにより、磁場を加えることで局在ポテンシャルトラップを有効に利用できる可能性を示した。40テスラのパルス強磁場により、励起子局所密度をゼロ磁場のそれに比べ1 - 2桁程度上げる得ること実験的に示すことに成功した。即ち、励起子ボーズ凝縮実現に十分な程度の高密度化 ($n=10^{10} \text{ cm}^{-2}$ 程度) が可能であることが示された。これらの知見の下に、この系において励起子ボーズ凝縮を実現できる方法を提案した。

以上を要約すると、本研究はタイプII量子構造での局所局在ポテンシャルによる励起子高密度化とその強磁場効果を明らかにし、励起子ボーズ凝縮の可能性に関する新しくかつ重要な知見を見出しており、物理工学、物性物理学の発展に寄与するところが極めて大きい。

よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。