

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 安平俊伸

量子井戸、量子細線、量子ドットなどの半導体量子構造においては、人工的につくられた量子ポテンシャルによって量子化された電子準位の示す種々の量子効果が基礎的物理学の新しい問題として、また新しい半導体デバイス応用という観点から関心を集めている。しかしながらこれらの研究は従来、非常に良質な結晶が得られる III-V 族半導体を中心に行われてきた。II-VI 族半導体については、ゼロギャップの物質から広バンドギャップのものまで多様な結晶が存在すること、有効質量が比較的大きく励起子の束縛エネルギーが大きいこと、また電子・格子相互作用が大きいなどの特徴のためにきわめて興味深い物質群であるが、III-V 族ほどの良質な結晶や量子構造が得られないことから研究が立ち後れていた。最近、非常に良質なデバイスが作製されるようになり、多くの興味深い現象が見出されるようになったが、その磁気光学的性質は、磁場に対する応答が小さいためにほとんど未開拓な領域であった。II-VI 族半導体のもう一つの特徴は II 族のカチオンを Mn^{2+} などの磁性イオンで置換することにより、半導体と磁性体の性質を併せ持った希薄磁性半導体を作製できることである。これについても多くの研究がなされているが、その量子構造や次元依存性に関してまだ未知の問題が数多く残されている。

本論文は、「強磁場における II-VI 族半導体量子構造の励起子に関する研究」と題し、II-VI 族半導体の量子ドットおよび希薄磁性半導体の量子井戸について、強磁場、高圧下における磁気光学スペクトロスコピーを手段としてなされた研究をまとめたものである。

第 1 章「序論」では、本研究の目的、意義、論文の概要などが述べられている。

第 2 章「磁場中における半導体低次元励起子スペクトル」では、半導体低次元構造の電子状態、励起子準位、磁性イオン注入の効果など、本研究の背景にある基本的問題の要約が述べられている。

第 3 章「実験技術」では、長時間パルス磁場下、高圧下での磁気光学スペクトロスコピーの実験法が述べられている。特にパルス磁場中で静水圧および一軸性の高圧を発生する方法、CCD と組み合わせた OMA によって時間分解スペクトルを測定する方法などは本研究の過程で開発が進んだ新しい実験技術である。

第 4 章、第 5 章は本論文の中心をなすもので、本研究で得られた実験結果とその考察が議論されている。

第 4 章「II-VI 族半導体量子ドットの励起子発光スペクトル」では、CdSe/ZnSe、CdTe/ZnTe 量子ドットについて励起子の反磁性シフトの異常な振る舞いが論じられて

いる。励起子の反磁性シフトは励起子の波動関数の広がりを見積るのに有力な手段であるが、CdSe/ZnSe ではドットの形状が小さいときには反磁性シフトが通常の励起子とは逆に低エネルギー側に起こることが見出された。この現象は正孔がドットの内部ではなく電子とは離れた位置に局在しているために、磁場の増加とともに電子、正孔の波動関数が収縮すると電子正孔対の再結合寿命が増大し、励起子が低ポテンシャルドットに緩和していくとするモデルによって定量的にも非常によく説明されている。比較的大きいドットについては、励起子の波動関数の広がりが見積られ、これが CdSe バルク結晶とあまり変わらないことが見出された。CdTe/ZnTe については、励起子ピークのエネルギーが高いほど、すなわち小さいドットほど反磁性シフトが大きいという異常性が見出された。また一軸性圧力によって励起子ピークに異常な分裂が見られることが見出された。これらの結果は 2 次元電子系では価電子帯のバンドオフセットが小さいために正孔の閉じ込めが弱く、励起子のドット内部への閉じ込め効果が小さいためであるとして説明されている。

第 5 章「希薄磁性半導体量子構造の励起子発光スペクトル」では、CdMnTe/CdMgTe 量子井戸について、巨大ゼーマン効果のために低エネルギー側にシフトした励起子の発光ピークの磁場依存性、量子井戸幅依存性の測定結果が詳しく議論されている。シフトから得られる伝導電子、正孔と磁性イオンとの間の sp-d 交換相互作用は井戸幅に依存すること、その依存性の一部は界面における波動関数の浸み出しの効果であるが残りの部分は相互作用の波数ベクトル依存性によるものであること、静水圧を加えると sp-d 交換相互作用は増加するが、増加率は井戸幅が狭いほど大きいこと、圧力効果の井戸幅依存性は界面の効果によるものであること、隣接 Mn イオン間の交換相互作用 J_{NN} は井戸幅によらないなど多くの新しい知見が得られた。これらの現象は、sp-d 交換相互作用が界面の影響を受け、また次元性によって変化するという観点から統一的に説明されている。

第 6 章「総括」では、以上の研究の概要が要約されている。

以上を要するに、本研究は 45T を越える長時間パルス強磁場、1.6GPa におよぶ高圧下における励起子の磁気光学スペクトロスコピーを手段として、II-VI 族半導体の量子ドット、および希薄磁性半導体量子井戸について系統的な研究を行い、従来、研究例の少なかったこの分野で多くの新しい知見を見出したものであり、物性物理学、物理工学の発展に寄与するところがきわめて大きい。

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。