

学 位 論 文 題 名

INHOMOGENEOUS BROADENING
OF Mn^{2+} PHOTOLUMINESCENCE IN $CdMnTe$

($CdMnTe$ における Mn^{2+} 発光の不均一広がり)

学位論文内容の要旨

我々は、 $CdMnTe$ の Mn^{2+} 発光の実験を、波長可変レーザー、フォトンカウンティングシステムを用い、いろいろな温度、及び、高圧下で行った。

発光の測定は、いろいろな温度で、いくつかの Mn 濃度をもつ $CdMnTe$ 単結晶を用いて行った。その結果、この希釈磁性半導体で、 Mn^{2+} 発光のピークエネルギーが、励起エネルギーの変化に伴いシフトしていることが初めて観測された。

Mn^{2+} 発光の解析のために、配位座標モデルを使い不均一広がりを導入する。我々は基底状態と励起状態のポテンシャルが同じ曲率をもつと仮定し、 E_0 (均一広がりだけを考慮した吸収の中心に対応するもの) のガウシアン分布による不均一広がりを考慮した。その結果、発光ピークエネルギーと発光スペクトル幅の表式を得た。

このモデルによると、 Mn^{2+} 発光ピークエネルギーは励起エネルギーに対して線形にシフトすることが予想される。そして定性的に Mn^{2+} 発光ピークエネルギーの励起エネルギー依存性を議論でき、また、 H_0 (均一幅)、 H_{in} (不均一幅) の値も計算することができる。

この様に、我々のモデルでは、励起エネルギーに関係した Mn^{2+} 発光にみられるエネルギーシフトが、不均一に広がった Mn^{2+} の準位の選択励起であると考えられる。

さらに、 Mn^{2+} 発光ピークエネルギーが 2.2 eV (Mn^{2+} 吸収最大と考えられるところ) 以下で励起エネルギーの減少とともに減少しているが、それより高いエネルギーではシフトはみられないことが観測された。

実験の解析には二つの方法を用いた。第一は、発光ピークエネルギーが励起エネルギーに依存しているときの実験のスペクトル幅を用いることである。第二は、高エネ

ルギー励起のもとで発光幅が吸収幅と同じくらいと仮定することが出来ることとみなして、 Mn^{2+} 吸収ピークよりもずっと高いエネルギーで励起したときに得られた実験の結果を用いることである。

我々のモデルの新しい寄与はある温度での均一広がりと不均一広がりを分けて計算できることである。これまでは、不均一広がりに温度依存性はないと考え、温度による幅の変化は、温度依存性を示す均一広がりにより説明されていた。

いくつかの温度に対する解析の結果は、温度とともに不均一広がりに突然の変化が現れることを示している。不均一広がり温度が高くなるとともに減り、高温では消えてしまう。このように、発光幅の温度依存性を説明するためには、両方（均一幅及び不均一幅）の変化を考えなければならない。

Mn^{2+} 吸収の高エネルギー側での広がり、低エネルギー側とは違う結果を示している。ここで、 Mn^{2+} 吸収の低エネルギー側では局在的な性格が強く、高エネルギー側ではバンド的性格が現れると考えられる。

異なる濃度のサンプルの詳細な比較の結果、発光幅の均一広がりの温度依存性は同じになる。一方、 Mn の濃度の減少とともに不均一広がりの部分が減っていることを示している。このように、一般的に不均一広がり $H_{10}(T, \omega_1, x)$ と考えるべきである。このように、我々のモデルは、40 K 以下及び、励起エネルギー 2.2 eV 以下で適合する。40 K より高い温度では不均一広がり消えるので、その特徴は変化し、均一広がりの付加的な部分を考えなければならない。この結果はまた、広がりの特徴の変化がマンガンイオン間の交換相互作用の変化であると考えられる。このように、従来用いられていたモデルは、もはや高温では再考が必要である。このように、我々のモデルの主な有益性は、それぞれの温度で、発光幅の不均一と均一の寄与を分けることが出来るということである。

最後に、高圧下で得られたデータから、均一及び、不均一幅に対する圧力係数を計算したところ、正であった。これは、励起状態の変位の大きさが圧力の増加とともに増えていることを示している。ここで、解析には同じ振動数を仮定した。しかしながら、解析の結果は、この仮定と少し違いがある。このように、圧力を加えることにより、このモデルを確かめるには、より実験的な研究が必要である。

学位論文審査の要旨

主査	教授	中原 純一郎
副査	教授	大川 芳 義
副査	助教授	渡 辺 純 二
副査	助教授	根 本 幸 児

学 位 論 文 題 名

INHOMOGENEOUS BROADENING OF Mn^{2+} PHOTOLUMINESCENCE IN CdMnTe

(CdMnTe における Mn^{2+} 発光の不均一広がり)

半導体の研究は光学素子の開発に向けての研究が盛んで、最近では超格子のような人工結晶の研究が盛んに行われている。しかし素材の研究は人工結晶の基礎をなすもので、この基礎的な研究抜きでの発展はあり得ない。特に機能性を備えた人工結晶に欠かせないものとして半磁性半導体がある。この素材は半導体中の構成元素を遷移金属で置換したものである。ところが混入された磁性不純物の d 電子の状態は長年研究されてきているにもかかわらず、その振動子強度の強さ・エネルギー状態の幅の広さ・多電子状態であること等から研究の進展が非常に遅れたままとなっているのが実状である。

この d 電子の状態は配位座標模型で局在した電子状態として全く独立に取り扱われてきた。しかし最近の光電子分光の実験により d 電子の基底状態が価電子帯の頂から非常に深いところにあるとの実験結果が得られ、一電子状態と多電子状態を統一的に扱うことが必要であると分かった。また理論的にも d 電子からなる多電子状態と一電子近似による電子状態を統一的に取り扱うことが可能となりつつある。この様に現在 d 電子の状態を見直す必要にせまられている。

申請者の研究は典型的な半磁性半導体を取り上げ、その d 電子の励起状態からの緩和過程を発光を実験手段として詳細に研究したもので、その内容の主要部分は下記のように要約される。

カドミウム・マンガンをテルル混晶 (CdMnTe) におけるマンガンの d 電子状

態に起因する 2 e V 発光を精密に調べ、この d - d 発光の不均一幅と均一幅とを分離して測定する方法とそれらの温度依存性を報告するものである。すなわち d 電子励起状態ではマンガンの大きい格子変位を伴うことから、発光の幅が非常に広く不均一幅を独立に求めることが難しい。またこの不均一幅を独立に求めることが出来なかった。申請者はこの様に大きい格子緩和を伴う系に対し不均一幅を独立に求める実験・解析法を開拓し、これを求めた。それは d - d 吸収の低エネルギー側の裾で選択励起の手法を使い、発光の励起波長依存性を測定し、この依存性と発光の幅から不均一幅と均一幅を求めるものである。これらにより均一幅・不均一幅を独立に決定し、それらの温度依存性を明らかにしたものである。この結果は不均一幅が 5 0 K 程度で消失し、それと共に均一幅が増大すること、また選択励起を d - d 吸収の頂近傍より高エネルギーでは出来なくなることを見つけた。これらのことから 5 0 K 程度で、また d - d 吸収の頂近傍より高エネルギーでその性格に著しい変化があると推論した。この原因を d 電子状態がバンド的になると示唆し、格子変位を伴う d 電子状態を理論的に明らかにする手がかりを与えたものである。

以上のように申請者の研究は半磁性半導体における d 電子の状態を実験的に精密に研究したものであり、d 電子の研究に大きい手がかりを与えるものである。また示唆に富む研究内容はこの方面の研究に大きい貢献をなすものである。

よって、審査員一同は申請者が博士（理学）の学位を受ける資格があるものと認めた。