



Title	Electronic Structure of Mn Doped Diluted Magnetic Semiconductor
Author(s)	上田, 茂典
Citation	大阪大学, 2000, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/42198
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏名	上田茂典
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第15501号
学位授与年月日	平成12年3月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 基礎工学研究科物理系専攻
学位論文名	Electronic Structure of Mn Doped Diluted Magnetic Semiconductor (Mnをドープした希薄磁性半導体の電子状態)
論文審査委員	(主査) 教授 菅 滋正
	(副査) 教授 鈴木 直 教授 那須 三郎

論文内容の要旨

大型放射光施設 SPring-8 の軟X線ビームライン BL25SU にて、ビームライン建設作業に従事し、ビームラインのベーク、超高真空立上げ、高分解能軟X線分光器の調整作業を行ってきた。これと平行してビームラインに据え付けの高分解能光電子分光装置、内殻光吸收磁気円偏光二色性 (MCD) 測定装置の立ち上げを遂行し、これまでの実験では不可能であった 1 keV に近い軟X線領域でエネルギー分解能 ($E/\Delta E$) 10,000 以上の実験を可能にした。

可視光領域にバンドギャップを持ち、強い p-d 交換相互作用を示すとされる $Zn_{1-x}Mn_xY$ ($Y=S, Se$) に対して、 $Mn\ 2\ p$ 内殻光電子分光 (XPS)、 $Mn\ 2\ p$ 内殻光吸収 (XAS)、 $Mn\ 2\ p - 3\ d$ 共鳴光電子分光 (RPES) を行った。得られた実験結果 (XPS、XAS、RPES) を、配置間相互作用を考慮したクラスターモデルで且つ、同一のパラメーターを用いて再現することにより電子状態を特徴づけるパラメーターを高精度で求めることに成功した。

四元系 $Hg_{1-x}Cd_xMn_yTe$ では、Cd 濃度を変化させた時の $Mn\ 3\ d$ 電子状態の変化を観測するために、 $Mn\ 2\ p$ XAS 及び $Mn\ 2\ p - 3\ d$ RPES を $x = 0 \sim 0.215$ 、 $y \approx 0.02$ に対して行った。Mn 濃度が 2 % 前後という低い濃度であるにも拘らず、高分解能かつ高精度の $Mn\ 3\ d$ スペクトルを測定することに成功した。得られた実験結果 (XAS、RPES) をクラスターモデル計算で解析した。得られたパラメーターから、これらの系で見られる物性を記述するパラメーターの一つである $Te\ 5\ p - Mn\ 3\ d$ 間の交換定数 $N\beta$ を求めた。この結果は、以前に行われた Shubnikov-de Haas 実験の結果と矛盾無く、この系に対して妥当な電子状態を特徴づけるパラメーターを得ることができた。

強磁性転移温度 40K の強磁性体 $Ga_{1-x}Mn_xAs$ ($x=0.025$) に対して、 $Mn\ 2\ p$ 内殻光吸収における磁気円偏光二色性 (MCD) を高精度で測定することに初めて成功した。XAS と MCD の理論計算との比較により、Mn はほぼ二価であるが、As 4 p - Mn 3 d 間の混成による異なる電子配置からの寄与は無視できないことを示した。磁気光学総和則を $Mn\ 2\ p$ MCD スペクトルに適用した結果、軌道磁気モーメントの全磁気モーメントに対する寄与は 0.03 と極めて小さいことが分かった。

高分解能装置開発によって初めてこれらの実験を可能にしたこと、装置、物性研究の両面を含めて博士論文にまとめてある。

論文審査の結果の要旨

学位申請者上田は大型放射光施設 SPring-8 の軟X線ビームライン BL25SU の建設に従事し、高分解能軟X線分光器の調整、高分解能光電子分光装置、内殻光吸収磁気円偏光二色性（MCD）測定装置の立ち上げを行い、これまでの実験では不可能であった1keVに近い軟X線領域でエネルギー分解能 ($E/\Delta E$) 10,000以上の実験を可能にした。

これを用いて、非磁性半導体に磁性不純物をドープした希薄磁性半導体を中心に研究した。これらの物質は、半導体と磁性体両方の性質を併せ持ち、巨大ゼーマン分裂、巨大ファラデー回転、負の磁気抵抗を示すことから注目されている。これらの物性は、母体のバンドと Mn 3d 軌道間の交換相互作用が重要な役割を果たしているものと考えられている。

可視光領域にバンドギャップを持ち、強い p-d 交換相互作用を示すとされる $Zn_{1-x}Mn_xY$ (Y=S, Se) に対して、Mn 2p 内殻光電子分光 (XPS)、Mn 2p 内殻光吸収 (XAS)、Mn 2p-3d 共鳴光電子分光 (RPES) を行った。得られた実験結果 (XPS, XAS, RPES) を、配置間相互作用を考慮したクラスター・モデルで且つ同一のパラメーターを用いて再現することで、電子状態を特徴づけるパラメーターを高精度で求めることに成功した。

四元系 $Hg_{1-x-y}Cd_xMn_yTe$ では、三元系のものとは異なり Mn 濃度とは独立に Cd 濃度によってもバンドギャップを制御することができる。Cd 濃度を変化させた時の Mn 3d 電子状態の変化を観測するために、Mn 2p XAS 及び Mn 2p-3d RPES を $x=0 \sim 0.215$, $y \approx 0.02$ に対して行った。Mn 濃度が 2% 前後という低い濃度であるにも拘らず、高分解能かつ高精度の Mn 3d スペクトルを測定することに成功した。得られた実験結果 (XAS, RPES) をクラスター・モデル計算で解析してある。得られたパラメーターから、これらの系で見られる物性を記述するパラメーターの一つである Te 5p-Mn 3d 間の交換定数 $N\beta$ を求めた。この結果は、以前に行われた Shubnikov-de Haas 実験の結果と矛盾無く、この系に対して妥当な電子状態を特徴づけるパラメーターを得ることができた。

一方、近年の MBE 成長技術の発展により III-V 族半導体にも Mn をドープすることが可能になってきた。その中でも p 型の $Ga_{1-x}Mn_xAs$ は、これまで多くの研究が行われてきている。II-VI 族の希薄磁性半導体とは異なり強磁性を示すことで注目されている。強磁性転移温度 40K の強磁性の $Ga_{1-x}Mn_xAs$ ($x=0.025$) に対して、Mn 2p 内殻光吸収における磁気円二色性 (MCD) を高精度で測定することに初めて成功した。Mn の 3d⁵ を始状態とする XAS と MCD の理論計算との比較により、Mn はほぼ二価で p-d 間の混成は弱いを示した。また、磁気光学総和則を Mn 2p MCD スペクトルに適用した結果、軌道磁気モーメントの全磁気モーメントに対する寄与は 0.03 と極めて小さいことが分かった。

これらの実験は、S/N の良い MCD 測定装置を用いて初めて可能になるものであり、実際 BESSY のグループではこの実験に成功していない。高分解能装置開発によって初めてこれらの実験を可能にしたこと、装置、物性研究の両面を含めてレベルの高い研究にまとめた。よって博士（工学）の学位論文として価値のあるものと認める。