

氏名(国籍)	南 炯 兌 (韓 国)
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	博 甲 第 3147 号
学位授与年月日	平成 15 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
審査研究科	工学研究科
学位論文題目	MBE 法と窒素プラズマによる希薄磁性半導体 $Zn_{1-x}Mn_xTe$ の p 型ドーピングと磁気輸送特性に関する研究
主 査	筑波大学教授 工学博士 瀧 田 宏 樹
副 査	筑波大学教授 理学博士 大 成 誠之助
副 査	筑波大学教授 理学博士 秋 本 克 洋
副 査	筑波大学教授 工学博士 村 上 浩 一

論 文 の 内 容 の 要 旨

磁性元素を含む混晶半導体である希薄磁性半導体 (DMS) は半導体と磁性体の両方の特性を有する材料系であり、磁性スピンとキャリア間の交換相互作用が電気伝導特性や磁気特性にもたらす影響を解明することは物理的な興味のみならず、応用においても重要である。本論文では、磁性元素の添加量とキャリア濃度を独立に制御することが可能な点で、III-V 族系に比べて有利な、II-VI 族系に着目し、また n 型より p 型において交換相互作用がより大きいと期待されることから、 p 型伝導制御が比較的容易な $ZnTe$ をベースとした $Zn_{1-x}Mn_xTe$ 系を取り上げ、磁性スピンとキャリアの相互作用に関する知見を得るための研究を行っている。試料の作製は MBE (Molecular Beam Epitaxy) 法を用い、窒素プラズマドーピングにより良質の p 型 $Zn_{1-x}Mn_xTe$ の作製を行った。まず DMS の n 型と p 型における磁気抵抗のメカニズムの違いの解明を Mn 組成とキャリア濃度の観点から議論し明らかにした。また $Zn_{1-x}Mn_xTe$ 系における強磁性転移の確認及びそのメカニズムについての重要な知見を得ることに成功している。

具体的には、最も高いキャリア濃度が得られた p - $ZnTe:N$ の成長条件のもとで Mn を加えて p 型 $Zn_{1-x}Mn_xTe$ を作製し、Hall 測定でキャリア濃度などを求めたところ、Mn 組成が 10% 台の試料でも $\sim 10^{19} \text{cm}^{-3}$ の正孔添加が可能となった。抵抗率及びホール係数の温度依存性から、 p 型 $Zn_{1-x}Mn_xTe:N$ ではキャリア濃度が $6.2 \sim 7.5 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ の付近で金属-絶縁体転移が起こっていることが確認され、 p 型 $Zn_{1-x}Mn_xTe$ 系で初めて金属-絶縁体転移が観測された。一方、磁気輸送特性の評価から、 p 型 $Zn_{1-x}Mn_xTe$ の全ての試料に共通に、低温領域で磁場の増加に伴い抵抗が減少する負の磁気抵抗が観測された。特に、絶縁体的な伝導を示す試料の場合は負磁気抵抗の変化量が大きく、温度領域ごとに異なる振る舞いを見せることがわかった。このような p 型 DMS で見られる磁気抵抗の振る舞いは低磁場領域で正の磁気抵抗が、高磁場領域で負の磁気抵抗が現れる n 型 DMS の低温領域の振る舞いとは大きく異なる。 p 型 DMS で見られる負の磁気抵抗のメカニズムとしては磁気ポーラロンの形成に起因するものと解釈され、磁気抵抗の振る舞いが Mn 組成やキャリア濃度によってどのように変化するかを詳細に調べたところ、Mn 組成が大きいほど負の磁気抵抗が強まることが観測されており、磁気ポーラロンモデルと実験結果がよく一致していることがわかった。一方、金属絶縁体転移直下の試料において低温で磁化に比例する異常 Hall 効果が観測されており、特に Mn 3.4%、キャリア濃度が $4.7 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ の試料において 2.5K 以下で磁気抵抗と Hall 抵抗の磁場依存性にヒステリシスループが観測され、強磁性転移していることが確認された。この系におい

て2.5Kでヒステリシスが観測できたのは本研究が初めてであり、強磁性転移温度はおよそ3Kにも及ぶことが見積もられた。この値は $Zn_{1-x}Mn_xTe$ 系において現在のところ最も高い強磁性転移温度である。強磁性の起源としては磁気ポーラロンモデルに基づくキャリア（ホール）を介したポーラロン間のRKKY相互作用として解釈すれば、磁気輸送特性において低温で見られる負の磁気抵抗の振る舞いと関連づけて解釈ができる。さらに、光照射を用いてキャリア濃度を変えることによって強磁性の制御が可能であるかをこの系で初めて試みた結果、光照射中の方が保持力と残留磁化に相当する値が大きくなっており、より強い強磁性が現れた。このような違いは光照射によって増加したキャリアが寄与していると考えられ、キャリア誘起強磁性との解釈を強く支持する結果である。

審 査 の 結 果 の 要 旨

まずMBE法を用い、窒素プラズマドーピングによりMn濃度及びキャリア濃度を広範囲に変化させた良質の*p*型 $Zn_{1-x}Mn_xTe$ の作製に成功している。それに基づき、*p*型DMSにおけるキャリアと磁性イオンとの相互作用から生じる特徴的な電氣的・磁氣的輸送現象を初めて明らかにすることができた。特に、低温で強磁性秩序が現れることが確認され、これまでの報告例の転移温度を越えて、2.5Kにおいて実験的にヒステリシスが観測された。また、強磁性の検出法としてHall測定と磁気抵抗測定という電気伝導測定の手法を使うことで、光照射下での変化を確認することに成功し強磁性転移がキャリア濃度に依存していることを直接的に示すことが出来たことは重要な成果である。

よって、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。