

課題番号 : 2019B-E20
 利用課題名 (日本語) : 室温鉄系強磁性半導体薄膜における磁気状態の解明
 Program Title (English) : Elucidation of magnetic states of room-temperature ferromagnetic semiconductor thin films
 利用者名(日本語) : 荒木 恒星¹⁾, 武田 崇仁¹⁾, 小林 正起¹⁾
 Username (English) : K. Araki¹⁾, T. Takeda¹⁾, M. Kobayashi²⁾
 所属名(日本語) : 1) 東京大学大学院工学系研究科
 Affiliation (English) : 1) Department of Electrical Engineering and Information Systems, The University of Tokyo
 キーワード : Ferromagnetic semiconductor, X-ray magnetic circular dichroism

1. 概要 (Summary)

強磁性半導体(FMS)は、半導体と磁性体の両方の性質を有し、電子工学と磁気工学を組み合わせた半導体スピントロニクス物質として注目を集め、研究が進んでいる。FMS を用いたスピントロニクスデバイスの開発がされているが、強磁性転移温度(T_C)が室温よりも低いために現実的な応用に至っていない。III-V 族 FMS である(In,Mn)As は、類似の III-V 族 FMS (Ga,Mn)As に比べて、その T_C は低い。今回、我々は FMS における T_C の起源を明らかにするために、(In,Mn)As における Mn の電子状態を X 線磁気円二色性(XMCD)により調べた。(In_{0.93}Mn_{0.07})As の Mn $L_{2,3}$ 端の XMCD スペクトルの磁場依存性は、強磁性と常磁性の成分が存在することを示した。(Ga,Mn)As と比べると、(In,Mn)As の方が強磁性に寄与している Mn の割合が低いことが分かった。

2. 実験(目的,方法) (Experimental)

FMS における強磁性の起源を明らかにするためには、磁性と関連する電子構造を調べることが重要となる。Mn ドープ FMS (In,Mn)As と(Ga,Mn)As の T_C の違いを明らかにするために、(In,Mn)As 中の Mn イオンの磁気状態を XMCD により調べた。

測定には、SPring-8 重元素科学ビームライン(BL23SU)の XMCD 装置を用いた。測定した試料は、As(~1 nm)/(In_{0.93}Mn_{0.07})As(50 nm)/InAs(50 nm)/n⁺-InAs sub.薄膜である。ここで、表面の非晶質 As 層は試料の酸化を保護する役目を担う。XMCD 測定は、 T_C (~40 K)よりも低い 20 K にて行われた。X 線吸収分光(XMCD)スペクトルは、全電子収量法により測定した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

図 1 は、As/(In,Mn)As 薄膜にて測定された Mn $L_{2,3}$ XAS および XMCD スペクトルを示す。XAS スペクトルは多くのピークが存在する多重項構造を示した。

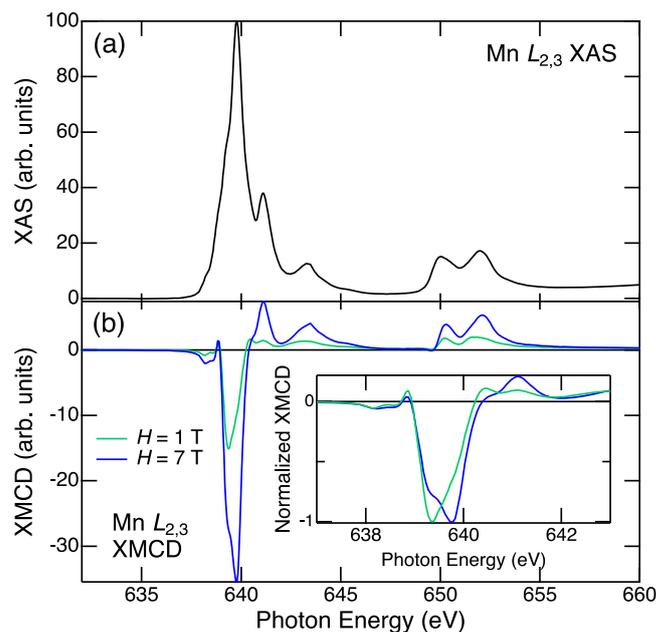


図 1. (In,Mn)As 薄膜試料の Mn $L_{2,3}$ XAS/XMCD スペクトル. (a) XAS スペクトル. (b) XMCD スペクトル. 強度は XAS スペクトルの最大値を 100 として規格化している。挿入図は高さで規格化した XMCD スペクトルを示す。

(Ga,Mn)As における XMCD の先行研究では [Y. Takeda *et al.*, Phys. Rev. Lett. **100**, 247202 (2008).]、(Ga,Mn)As 中に強磁性と常磁性の Mn が存在することが示唆された。(In,Mn)As における Mn イオンの強磁性および常磁性成分を調べるために、磁場を変えて ($H = 1$ T および 7 T) 測定された XMCD スペクトルを図 1(b)に示す。(In,Mn)As の XMCD スペクトルは明確に磁場に依存しており、スペクトル形状が大きく変化した。その磁場依存性から、 $H = 1$ T で観測された 638.7 eV のピークが強磁性成分、 $H = 7$ T で観測された 640 eV のピークが常磁性成分であることが分かった。(In,Mn)As の強磁性成分と常磁性成分の割合は、(Ga,Mn)As の割合に比べて、低い。この結果は、強磁性に貢献する Mn イオンの数が少ないことが T_C の低い原因であることを示唆する。今後は、スペクトル

ル分離による割合の定量評価、および XMCD 総和則によりスピンおよび軌道磁気モーメントを見積もり、(In,Mn)As において強磁性を担う Mn イオンの詳細を調べる。

4. その他・特記事項 (Others)

BL23SUでの実験に関して、原子力研究機構の竹田幸治氏、藤森伸一氏、にご支援いただいた。本研究の一部は、スピントロニクス学術研究基盤と連携ネットワーク拠点の支援を受けて行われた。