

課題番号 : 2014A-E31  
利用課題名(日本語) : 強磁性半導体 Ge<sub>1-x</sub>Fe<sub>x</sub> 薄膜の電子状態・磁性状態の軟 X 線磁気円二色性による研究  
Program Title (English) : Resonant Soft X-ray ARPES Study of the Electronic Structure of the Ferromagnetic Semiconductor Ge<sub>1-x</sub>Fe<sub>x</sub>  
利用者名(日本語) : 藤森淳<sup>1)</sup>, 若林勇希<sup>2)</sup>, 坂本祥哉<sup>1)</sup>, 石上啓介<sup>1)</sup>, 竹田幸治<sup>3)</sup>, 斉藤祐児<sup>3)</sup>, 山上浩志<sup>3)</sup>, 田中雅明<sup>2)</sup>, 大矢忍<sup>2)</sup>  
Username (English) : A. Fujimori<sup>1)</sup>, Y. Wakabayashi<sup>2)</sup>, S. Sakamoto<sup>1)</sup>, K. Ishigami<sup>1)</sup>, Y. Takeda<sup>3)</sup>, Y. Saitoh<sup>3)</sup>, H. Yamagami<sup>3)</sup>, M. Tanaka<sup>2)</sup>, S. Ohya<sup>2)</sup>  
所属名(日本語) : 1) 東京大学大学院理学系研究科, 2) 東京大学大学院工学系研究科, 3) 独立行政法人日本原子力研究開発機構  
Affiliation (English) : 1) Department of Physics, The University of Tokyo, 2) Department of Electrical Engineering and Information Systems, The University of Tokyo, 3) Synchrotron Radiation Reserch Unit, JAEA

### 1. 概要(Summary)

IV 族強磁性半導体 Ge<sub>1-x</sub>Fe<sub>x</sub> 薄膜は、Si や Ge への高効率なスピン注入源として期待されているが、強磁性転移温度( $T_C$ )が 210 K と室温に到達しておらず、その電子状態や強磁性発現機構は全くわかっていない。そこで本課題では、軟 X 線を用いて吸収スペクトル(XAS)、磁気円二色性(XMCD)を測定することにより Fe3d 軌道の電子状態、磁気状態を観測してその物性を解明し、室温強磁性を実現することを目指して研究を行った。

### 2. 実験(目的,方法)(Experimental)

試料構造 [Ge cap (2 nm)/ Ge<sub>0.935</sub>Fe<sub>0.635</sub> (120 nm)/Ge buffer (30 nm)/Ge(001) substrate]をもつ、Ge<sub>0.935</sub>Fe<sub>0.635</sub> 層の成長温度とキュリー温度  $T_C$  が① 240°C、 $T_C = 100$  K、② 160°C、 $T_C = 20$  K である二つの試料①、②を作製し、BL23SU において XMCD 測定を行った。Fe  $L_{2,3}$  吸収端付近のエネルギー(700-730 eV)の光を用いて XAS、XMCD 測定を温度 5.6-300 K、磁場 0.1-5 T の範囲の様々な条件で行った。さらに、Fe 原子選択的な磁化ヒステリシス曲線を得るため、Fe の  $L_3$  吸収端のエネルギー(707.66 eV)における XMCD 強度の磁場依存性をマイナス 5 T からプラス 5 T の範囲で、温度範囲 5.6-300 K で測定した。

### 3. 結果と考察(Results and Discussion)

試料①、②ともに  $T_C$  より低い温度での Fe 元素選択的な磁化の磁場依存性では明瞭なヒステリシスが観測され、その形状は SQUID で測定した磁化ヒステリシス曲線および可視光 MCD で観測した Ge 4p 軌道のスピン分裂の磁場依存性と完全に一致した。このことから、Fe の 3d 原子

の磁気モーメントにより Ge の 4p 軌道がスピン分裂していることが分かった。これは、Ge 4p 軌道が Fe 3d 原子同士の強磁性的結合を介在していると解釈することができる。さらに、 $T_C$  以上から室温にかけての Fe 元素選択的な磁化の磁場依存性は超常磁性をあらわすランジュバン関数と常磁性をあらわす線形関数の足し合わせで完全にフィットでき、室温においても Fe 原子濃度揺らぎに起因する強磁性ドメインが存在しており、その強磁性ドメインの大きさが低温になるにつれて大きくなり、 $T_C$  において超常磁性・強磁性転移を起こしていることが明らかになった。これらの結果から、室温強磁性達成のためには Fe 原子濃度の揺らぎを適切に制御することが必要であることが分かった。

### 4. その他・特記事項(Others)

なし。