

XMCDによる希薄磁性半導体GaGdNの強磁性の研究

本間 徹生^a, 江村 修一^b, 橋本 政彦^b,
田中 浩之^b, 周 逸凱^b, 浅野 陵^b, 朝日 一^b
^a高輝度光科学研究センター, ^b大阪大学・産業科学研究所

背景

現代の情報化社会基盤を支えるナノスケールエレクトロニクスは、サブミクロンスケールオーダーに加工を施されたシリコンをベースとして電子の持つ「電荷」を制御することによって成立している。将来のより高度情報化社会では、更なる超高集積性、超高速性、省エネルギー性を併せ持つ新しいナノエレクトロニクスの構築が要求されており、従来のサブミクロンスケールオーダーに加工を施されたシリコンベースでの「電荷」制御によるエレクトロニクスの限界が認識されつつあり、これらを解決するためには、全く新しい機能を持つナノデバイスの出現が期待されているところである。その一つ的手段として電子や正孔の持つもう一つの自由度である「スピン」を積極的に利用することによって従来のデバイスが持っていない、全く新しい機能（特に磁性機能を合わせ持つ半導体）を持ついわゆるナノ（あるいはサブナノ）スケールで制御できるスピントロニクスデバイスが模索されている。しかし、現状のスピントロニクス材料においては、強磁性転移温度が室温以下（最高のもは110K）という大きな弱点があり、それを克服するために、本グループでは可視光域でも透明なワイドギャップ半導体GaNをベースとして、それに希土類金属のGdを固溶させることによって、室温でも強磁性を示す新しい磁性半導体材料GaGdNを新規に創製した。磁気特性に関しては、SQUIDを用いて、室温以上で強磁性転移温度を持つことを確認している¹⁾。室温強磁性が実現し制御可能となれば応用上大変重要な意味を持ち、

この材料を使用した受動・能動ナノデバイスが作製されるならば、情報化社会の高度化に向けて大きなインパクトを与えるものである。しかしながら、 $Ga_xGd_{1-x}N$ の示す強磁性は、Gdの不完全4f殻によって磁性を示すと考えられるが、本試料は最近新規に創製されたため諸物性はほとんど明らかにされていない、その強磁性発現機構は解明されていない。Gd-4f電子間の交換相互作用は、直接ではなく伝導電子もしくは隣接原子との共有結合によって媒介された間接的なものであると考えられる。一方で、これまでに希土類化合物の磁性を支配する4f-電子と伝導電子の混成における5d-電子の役割は、従来から考えられて来た以上に重要なものである事が分かっている。本研究では、磁性半導体 $Ga_xGd_{1-x}N$ の強磁性発現機構解明のために、そのGd 5d-電子状態に注目し、E1遷移 $2p \rightarrow 5d$ に由来する Gd $L_{2,3}$ -吸収端 XMCD (X-ray Magnetic Circular Dichroism) 測定による分光学的研究を行った。この目的が達成されるとこの材料のデバイスへの実用化に必要な「スピン」制御に関する知見が得られる。

半導体メモリーの小型大容量化が情報化社会の発展に伴い、その重要性が急速に高まっている。スピンの自由度を併せ持った半導体メモリーは、そのスピンの自由度をナノ（あるいはサブナノ）スケールで制御することによって飛躍的に記憶容量の増加をはかることが可能となる。また、より高速性も期待できるこの技術の確立は、半導体業界に飛躍的な発展をもたらすことが期待される。

実験

XMCD測定はBL39XUにおいて行った。磁場の制御は電磁石によって行い、測定は検出器としてSDD（シリコンドリフトディテクター）を使用し蛍光法を用いた。試料は、 $Ga_xGd_{1-x}N/Al_2O_3$ （Gd濃度が6%程度の薄膜、100nm程度）単結晶であり、この試料に対してGdの L_{3-} 、 L_{2-} 吸収端で測定を行った。

結果と考察

図1, 2にGd $L_{2,3-}$ 吸収端XMCDスペクトルを示す。得られたXMCDシグナル強度は、これまでに得られている強磁性Gd化合物におけるXMCDの大きさと比較して異常に小さい値である。Edge jumpの大きさと規格化した場合、得られたスペクトルの強度は0.1%程度であった。しかしながら、注意深く見ると L_{3-} 、 L_{2-} 吸収端でXMCD信号は逆転していて確かなものと考えている。これは、他のGd化合物におけるMCD強度と比較して2桁程度小さく、今回行った実験の統計精度に近いものであった。よって、スペクトルの詳細な構造を明確にするには至っていない。この異常に小さいXMCDスペクトル強度は、強磁性発現機構に関連することが期待される非常に興味深い結果であるが、スペクトルの形状が明確でないことから現段階でその機構を推定することは非常に困難である。さらに、吸収スペクトルにおいて、いわゆるホワイトラインと呼ばれる吸収端の立ち上がりピークの高エネルギー側に他のGd化合物には見られないショルダーが観測され、そのあたりにも欲目で見れば構造らしきものがある。以上、さらに精度を上げて測定を行えば室温強磁性発現機構に関する何らかの知見が得られるのではないだろうか。

今後の課題

今回の実験で得られたXMCDスペクトル

の形状を明確にするために、Fe箔のフィルターを用いることによってGd以外の蛍光X線や入射X線の弾性散乱を極力取り除いたS/B比が最適な条件において、積算時間を十分にとることによって統計精度を上げた実験を行う。さらに元素選択的ヒステリシスループの測定を行い、強磁性モーメントの起源を明らかにする。また、今回はセベラルバンチであったため検出器の数え落としが増えたことと蓄積電流の減少が早かったことが実験精度に影響を及ぼした可能性が考えられる。よって、この影響を除去するためにマルチバンチでの実験を行う予定である。

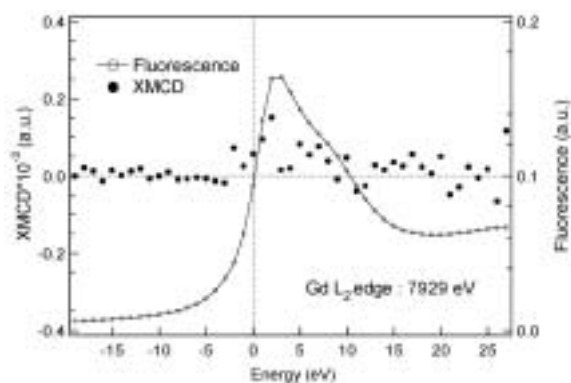


図1 Gd L_{2-} 吸収端における蛍光強度とXMCD

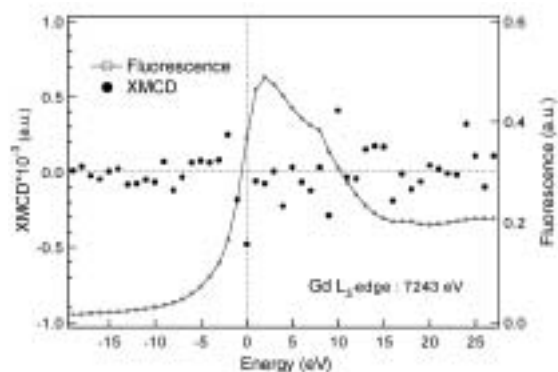


図2 Gd L_{3-} 吸収端における蛍光強度とXMCD

参考文献

- 1) N. Teraguchi, A. Suzuki, Y. Nanishi, Y. Zhou, M. Hashimoto and H. Asahi, Solid State Comm. **122** (2002), 651