



宗片比呂夫

東京工業大学 理工学研究科

プロフィール：1956年12月24日生。1984年3月東京工業大学大学院総合理工学研究科物理情報工学専攻博士課程修了。工博。同年4月、米国IBM T. J. Watson 研究所に入社。1993年12月に同研究所を退職。1994年1月東京工業大学工学部情報工学研究施設・助教授に採用、1998年同研究施設教授、現在に至る。専門分野は、結晶工学、半導体物理、磁性材料。応用物理学会、応用磁気学会、米国物理学会会員。「新しい素材による新物性の探究」、「夢を持つ」、「プロフェッショナリズム」が研究、人生、生活態度のモットー。趣味は、子供と虫取り、草取り、月1回のゴルフ。

III-V 族磁性半導体超構造の光誘起磁性

要旨

筆者は半導体と磁性体の融合化により、磁性金属と磁性絶縁体との間に横たわる未踏領域を切り開き、スピンの絡む新現象や効果を発見・応用することを旨として研究してきた。

(1) 光を当てて磁性を変える

(In, Mn) As という物質は、InAs という III-V 族化合物半導体に多量の Mn が添加された希薄磁性半導体である。この物質を超薄膜 GaAs-Fe グラニューラー構造化して非磁性の III-V 族化合物半導体 GaSb 上に積層しヘテロ構造を形成した後で光照射を行うと、(In, Mn) As 層の磁気秩序が常磁性から強磁性へと大きく変化することが明らかとなった。図1の磁化曲線は、このような実験データの一例である。挿入図は、試料断面構造の概念図である。GaSb 層中で生成した正孔が選択的に (In, Mn) As 層に移動・蓄積され、正孔スピンを介して Mn 間に誘起される強磁性交換相互作用が十分に強くなると、磁化の顕著な増大が起こる。この実験により、磁性混晶半導体超構造を適切に設計・作製すれば、磁性を常磁性から強磁性に光照射で制御できることが明らかとなった。

(2) GaAs や GaN に Fe や Mn を潜り込ませる

Mn 以外の磁性原子を半導体中に大量に添加できれば、素材の磁性とキャリア濃度をより広範に制御できると期待される。本研究では、多量の Fe 原子を GaAs 母体中に多量に添加することを集中的に検討した。結果、低温 (200℃) 分子線エビタキシー法により常磁性 GaFeAs 混晶薄膜を、高温交互堆積法により GaAs-Fe グラニューラー複合構造薄膜 (図2) を、それぞれ世界に先駆けて作製することができた。前者は、III-V 族磁性混晶半導体が Mn 以外の磁性原子を用いても作製できることを実証するものである。GaN にも多量の Fe や Mn が混入可能であることも世界に先駆けて呈示することができた。

(3) 室温光変調磁性

GaAs-Fe グラニューラー複合構造薄膜では、室温を含む広い温度領域で、光照射により磁化が可逆的に増減することを見出した。このような性質を有する半導体や磁性体はこれまでに知られていなかった。この試料には大きさも様々で磁性的な振る舞いも異なる磁性粒子が存在し、光照射によりキャリアスピンの発生するのは多結晶質の GaAs 部分であると様々な実験から推測されるが、磁化変化は膜中に分散したナノメートルサイズの Fe 微小粒子である可能性が高いことが明らかになりつつある。この発見は材料設計に新しい方向性をもたらすものと期待される。

得られた独創的研究成果をさらに展開させて、スピン協同現象を中心とするスピン演算、スピンメモリー、スピン通信デバイス等の新原理を打ち立てることに貢献して行きたいと考えている。

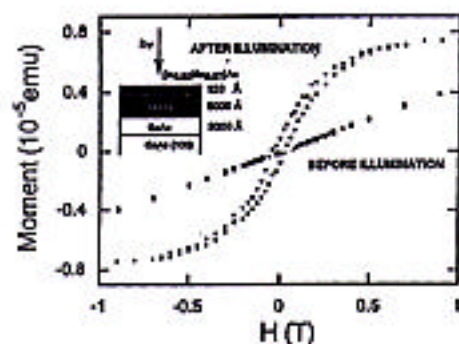


図1：(In, Mn) As の明・暗磁化曲線

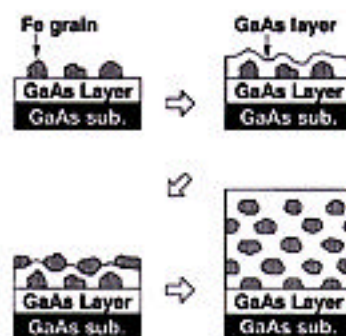


図2：GaAs-Fe グラニューラー構造の作製模式図

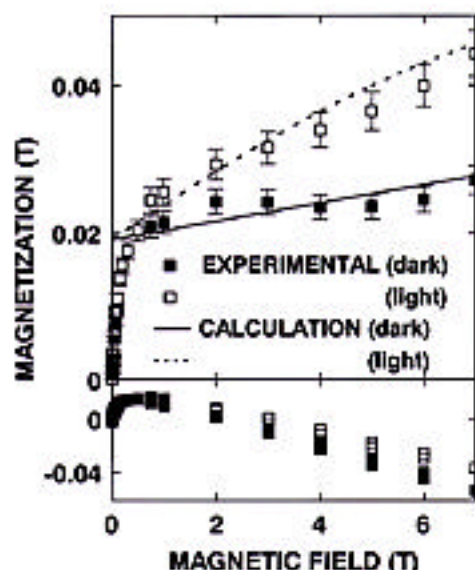


図3：GaAs-Fe グラニューラー構造の磁化曲線

研究成果

論文・解説・記事など

1. H. Munekata, T. Abe, S.Koshihara, A. Oiwa, M. Hirasawa, S. Katsumoto, Y. Iye, C. Urano and H. Takagi : "Light-induced ferromagnetism in III-V-based diluted magnetic semiconductor heterostructures", *J. Appl. Phys.* **81**, 4862-4864 (1997).
2. S.Koshihara, A. Oiwa, M. Hirasawa, S. Katsumoto, Y. Iye, C. Urano, H. Takagi, and H. Munekata : "Ferromagnetic Order Induced by Photogenerated Carriers in Magnetic III-V Semiconductor Heterostructures of (In, Mn) As/GaSb", *Phys. Rev. Lett.* **78**, 4617-4620 (1997).
3. 宗片比呂夫, "半導体における光誘起強磁性", *オプトロニクス* **195**, 144-148 (1998)。
4. K. Uchida, K. Nishida, M. Kondo, and H. Munekata : "Epitaxial Growth of GaN Layers with Double-Buffer Layers", *J. Cryst. Growth* **189/190**, 270-274 (1998).
5. K. Uchida, K. Nishida, M. Kondo, and H. Munekata : "Characterization of Double-Buffer Layers and Its Application for the Metalorganic Vapor Phase Epitaxial Growth of GaN", *Jpn. J. Appl. Phys.* **37**, 3882-3888 (1998).
6. H. Munekata, and S. Koshihara ; Carrier-induced magnetism : how and what we pursue with III-V-based magnetic semiconductor heterostructures? ; *Superlattices and Microstructures* **25**, 251-258 (1999).
7. A. Oiwa, A. Endo, S. Katsumoto, Y. Iye, H. Ohno and H. Munekata : Magnetic and transport properties of the ferromagnetic heterostructures (In, Mn) As/(Ga, Al) Sb ; *Phys. Rev. B* **59**, 5826-5831 (1999).
8. S. Hirose, A. Yoshida, M. Yamaura, and H. Munekata : Surface smoothing of GaAs microstructure by atomic layer epitaxy ; *Appl. Phys. Lett.* **74**, 964-966 (1999).
9. T. Kondo, A. Ishii, H. Munekata, and K. Takeda : Three-step molecular beam deposition of crystalline polydiacetylene films on semiconductor substrates with large crystal domains ; *Jpn. J. Appl. Phys.* **38** (7A), L764-766 (1999).
10. S. Haneda, M. Yamaura, Y. Takatani, and H. Munekata : Preparation and characterization of Fe-based III-V diluted magnetic semiconductor (Ga, Fe) As ; *Jpn. J. Appl. Phys.* **39**, L9-12, (2000).
11. Y. Takatani, S. Haneda, M. Yamaura, M. Tachibana and H. Munekata : Preparation of (Ga, Fe) As and its photo-magnetic characteristics ; *Inst. Phys. Conf. Ser. No. 166*, Papers presented at 26th Intern'l Symp. Compound Semiconductor (Berlin, August 23-26, 1999), p.83 (2000).
12. S. Haneda, H. Munekata, and Y. Takatani : Fe-based magnetic-semiconductor hybrid structures for photocarrier-induced magnetism ; *J. Appl. Phys.* **87**, 6445-6447 (2000).
13. 日経産業新聞H12.6.29. 「光照射で磁気強度変化」
14. 日経新聞H12.7.17. 「先端人—光で磁石になる材料開発」