

ミュオンスピン緩和で見た希薄磁性半導体の強磁性

後神 達郎

Department of Physics, Columbia University

goko@phys.columbia.edu

Mn をドーピングした GaAs はスピントロニクスへの応用のために精力的に研究されているだけでなく、わずかなドーピングによって常磁性絶縁体から強磁性半導体、強磁性金属へと変化していくことから基礎研究の観点からも非常に興味を持たれている。(Ga,Mn)As の物性が作製条件や熱処理に非常に敏感であることや、磁気異方性がドーピングや温度に強く依存することから、(Ga,Mn)As には本質的な空間的不均質が存在するのではないかと考えられていた。ミュオンスピン緩和 (μ SR) は静的磁気秩序が存在する領域の体積分率を調べることでできる強力な実験手段である。また、モーメントの大きさや分布に関する情報を得ることもできる。純良薄膜試料を用いた低エネルギー μ SR と電気抵抗率、磁化の測定結果 [1] から、(Ga,Mn)As は半導体試料と金属試料の両方において、ほぼ 100% の体積分率でシャープな転移温度を持つ強磁性秩序を示すことがわかった。また、モーメントの大きさは強磁性転移温度にほぼ比例し、半導体相と金属相の相境界においても滑らかに変化する。これは、Mn モーメント間の強い強磁性カップリングが遍歴ホールキャリアの出現以前から存在することを示唆する。

希薄磁性半導体の原型システムである (Ga,Mn)As や (In,Mn)As のような III-V 半導体では、3 価の Ga や In を 2 価の Mn で置換していくと化学的に不安定になり、高い磁気転移温度を有するバルク試料は作製困難であった。したがって、化学的に準安定な高 Mn 濃度試料は薄膜でしか得られないという現状がある。I-II-V 半導体 Li(Zn,Mn)As は、同価数元素置換による磁性の制御と過剰または欠損 Li 濃度によるキャリアの制御が分離しており、III-V 半導体での問題を克服できることが理論的に示されていた。われわれは、Li(Zn,Mn)As バルク試料の作製に成功し、非常に小さい保磁力 (30-100 Oe)、ほぼ 100% の体積分率を持つ磁気秩序を観測した [2]。また、Li(Zn,Mn)As の内部磁場と転移温度の関係は (Ga,Mn)As で得られた比例直線上にほぼ位置し、Li(Zn,Mn)As における強磁性が (Ga,Mn)As の強磁性と共通のメカニズムを持つことが示唆される。半導体 LiZnAs (立方晶)、強磁性体 Li(Zn,Mn)As (立方晶)、半強磁性体 LiMnAs (正方晶)、超伝導体 LiFeAs (正方晶) はすべて As の正方格子層を有し、As-As 間距離の違いは 11% 以内であることから、接合デバイス作製の可能を秘めている。

本研究は、Columbia University の J. P. Carlo と C. Arguello、F. Ning、Y. J. Uemura、Technische Universitat Munchen の S. R. Dunsiger、McMaster University の A. A. Aczel、T. Munsie、T. J. Williams、G. M. Luke、PSI の G. Nieuwenhuys と T. Prokscha、A. Suter、E. Morenzoni、TRIUMF の G. D. Morris、Tohoku University の D. Chiba と Y. Nishitani、T. Tanikawa、F. Matsukura、H. Ohno、J. Ohe、Tsinghua University の J. Zhang と Y. Wang、University of Tokyo の T. Kakeshita と S. Uchida、Chinese Academy of Science の Z. Deng と C. Q. Jin、Q. Q. Liu、X. C. Wang、J. L. Zhu、S. M. Feng、L. C. Chen、R. C. Yu、JAEA の T. U. Ito と W. Higemoto、B. Gu、S. Maekawa との共同研究である。

[1] S. R. Dunsiger *et al.*, Nature Materials **9**, 299 (2010).

[2] Z. Deng *et al.*, unpublished.