

超高速磁気記録方式の開発を目指した円偏光紫外レーザーによる磁化反転の検証

Ultra-fast magnetic recording - magnetization reversal by circularly polarized ultraviolet laser

今田 真^a, 矢野 正雄^a, 小森 聡^a, 井戸田 修一^a, 福本 恵紀^b, 大沢 仁志^b, 木下 豊彦^b, 菅 滋正^a
S. Imada^a, M. Yano^a, S. Komori^a, S. Itoda^a, K. Fukumoto^b, H. Osawa^b, T. Kinoshita^b, S. Suga^a

^a大阪大学大学院基礎工学研究科, ^b高輝度光科学研究センター

^aGraduate School of Engineering Science, Osaka University, ^bJASRI

スピントロニクス材料としてキュリー温度が室温より高い材料である Co をドーピングした ZnO 希薄強磁性半導体 $\text{Zn}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}$ ($x=0.1$) が注目されている。本研究では超高速光磁気記録ナノ材料としての可能性を光電子顕微鏡 (PEEM) と内殻吸収磁気円偏光 2 色性 (MCD) 測定より明らかにしようと考えた。逆 Faraday 励起して持ち込んだ試料では PEEM コントラストが見られなかった。MCD 信号は室温以上まで明確に見られたが 1 T までの磁場では室温で残留磁化が明確には見られず、光磁気記録にはさらに高い有効磁場を要すると思われる。次回に向けてさらに強力な円偏光パルスレーザーを利用した励起を行うこととした。

A diluted magnetic semiconductor, Co-doped ZnO ($\text{Zn}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}$) has been attracting much attention as a spintronics material with the Curie temperature higher than room temperature. We have set our goal to clarification of possibility of this material as ultra-fast magnetic recording nano-material by means of photoelectron emission microscopy (PEEM) and magnetic circular dichroism in core-level photoabsorption (MCD). Magnetic PEEM contrast was not found in the sample that was treated beforehand expecting inverse Faraday effect. Although MCD signal was clearly found up to above room temperature, no clear remanent magnetization was found by magnetic fields up to 1 T. Therefore even higher effective magnetic field would be needed for optical magnetic recording. In the next occasion, excitation with a stronger circularly polarized pulsed laser will be applied.

キーワード：室温強磁性、光磁気記録、逆 Faraday 効果

背景と研究目的

室温強磁性半導体は光磁気記録材料として注目されている。また逆 Faraday 効果とは強力な円偏光パルスレーザーを試料に入射することで、試料中に強い有効磁場を発生する手法である。これは円偏光励起の電気双極子選択則によってスピンの偏った電子が伝導帯に励起されるためと考えられる。その起源は価電子帯のスピン軌道相互作用にある。

さて光励起伝導電子の緩和時間内に母体の Co 数をはるかに超える数のスピンスピン偏極伝導電子を励起することが出来れば、1T をはるかに越える有効磁場で Co スピンの反転を実現できる可能性がある。

実験

励起は基礎吸収端でスピン軌道分裂した 1 つの価電子帯成分を集中的に励起する必要があるために、3.4eV 付近の幾つかのエネルギーで行った。SPRING-8 ではこのような励起は現時点で

は不可能なので、レーザー研究の専門実験室で励起強度や、励起時間や、励起エネルギーを変えた計数百点の励起領域を事前に作成し、磁気シールドした状態で持ち込んだ。

ZnO 自身はわずかに伝導性を持つので光励起時の帯電は観測されない。また ZnO 自身は酸化物であるので表面酸化の影響は少ないと思われたが、ドーピングされた Co については酸化の可能性もあることに鑑み、同じ組成で表面を Au 薄膜 30Å でコートした試料も準備し両者を測定した。

結果ならびに考察

Au コート試料は Co2p 内殻吸収端にチューンした PEEM で見る限り非常に滑らかで、酸化の影響は見られない。しかし逆 Faraday 光励起した数百領域を精査した結果でも磁気コントラストは見られなかった。

コート無しの試料では PEEM でコントラストのある領域は多数見られたものの、円偏光の極

性反転に対する磁気コントラストは見られず、表面に近い Co が酸化された影響が出ている可能性がある。

そこで磁性の起源と残留磁化に要する磁場強度を知るために、室温から低温液体 He 温度までの MCD 測定を行った。面内容易磁化を持つと考えられていたが、面内磁場と面直磁場の双方に対して同程度の MCD が観測された。

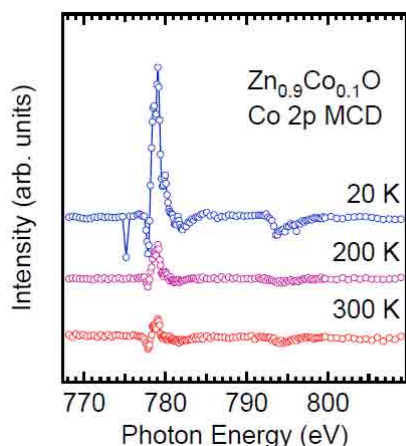


Fig. 1. Temperature dependence of the Co 2p MCD spectra measured with the out-of-plane magnetic field.

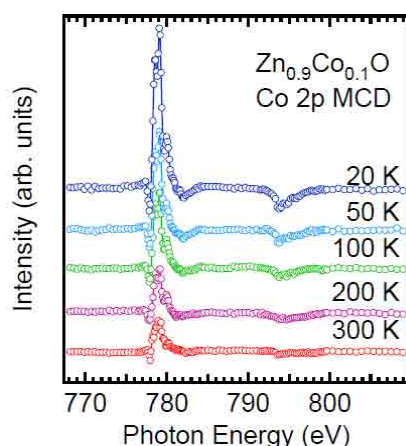


Fig. 2. Temperature dependence of the Co 2p MCD spectra measured with the in-plane magnetic field.

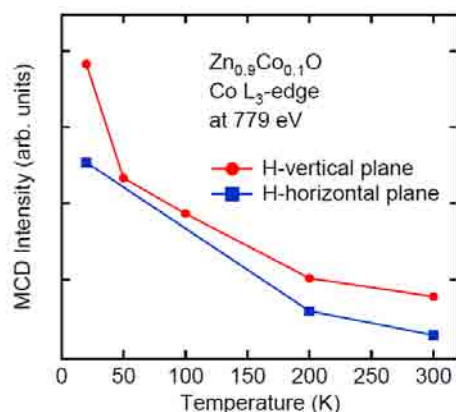


Fig. 3. Temperature dependence of the Co 2p MCD intensity and the direction of magnetic field.

図 1 図 2 はそれぞれ面内面直磁化の場合の MCD の温度変化である。それらの振幅を温度に対してプロットすると図 3 のように 20 K から室温まで滑らかにつながっており、キュリー温度が室温より上にあることと矛盾しない。しかし MCD 最大のエネルギーで 1 から -1 T までは磁場反転して測定した磁化カーブには明確なヒステリシスは観測されない。このことは磁気記録のためには 1 T では不足であることを意味しており、逆 Faraday 効果での有効磁場もこれよりはるかに大きな値が必要とされることを示唆する。今後、100fs 程度のパルス幅で、繰り返しが少なく 1 パルスあたりの光子数が大きい円偏光パルスを用いた最適励起を探索したい。

	Angle to parallel	Field of view (μm)	Focus (V)	Channel plate (V)	Kicker
Kicker-scan4	-40	5	3051	348	3.8sec*1

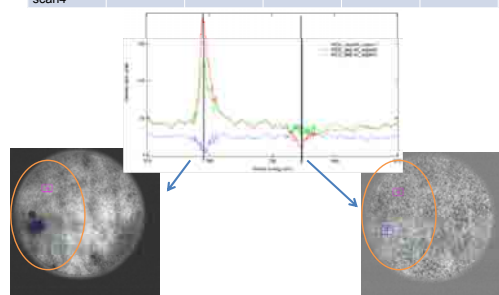


Fig. 4. MCD-PEEM measurement of Co islands on Au. The field of view was set to 5 μm .

一方 PEEM 観察技術を習熟し磁気ドットの磁性を調べるために、Co アイランドの磁気構造を観察した。図 4 は Au の上に Co を 3.4ML 蒸着しアニールして作った Au でコートされた Co アイランドの 5 μm の視野での PEEM 像と MCD スペクトルを示す。光エネルギーを L3 端と L2 端とで変えると磁気コントラストが反転すること、場所によって磁気コントラストが反対の領域があることが分かる。試料を回転したときの MCD の振る舞いも測定できるので磁性の起源を解明できると期待される。

今後の展望

本研究を通して、逆 Faraday 効果を用いた磁気記録のためには、1 T を超える有効磁場が必要ながわかった。次回以降、そのような有効磁場を発生させるような強力な円偏光レーザーで種々の条件を変えて励起した試料について、MCD-PEEM を用いた研究を推進する予定である。