

透明導電室温強磁性体 Fe@ITO の XAFS 分析

○岡田 浩一, 河原 克則, 下岡 弘和, 古曳 重美
九州工業大学大学院工学研究科

Fe_3O_4 は $10^{-3} \Omega\text{cm}$ の桁の抵抗率を有する導電体であり、ハーフメタルの電子構造を有している。そのため Fe_3O_4 のフェルミ準位に存在する電子 ($t_{2g}\downarrow$)は 100%スピン偏極している。透明導電体であるITOに Fe_3O_4 ナノクラスターを分散させることができれば、 Fe_3O_4 の電子はもとよりITOの電子でも Fe_3O_4 の電子との交換相互作用により 100%のキャリアスピン偏極率が達成できると期待される。 Fe_3O_4 から放出されたスピン偏極キャリアがITOの伝導帯に入ること、ITO中でのスピン依存電子輸送が期待できる。

我々は、図1に示すような磁化温度依存性を示すFeドープITO (Fe@ITO) を作製した。Feの濃度は原子濃度比で $[\text{In}+\text{Sn}]:[\text{Fe}]=2:0.16$ である。約120 Kから100 Kにかけて磁化が急激に減少しているが、これは Fe_3O_4 のVerwey転移によるものと考えられる。

室温におけるFe@ITOの磁化磁場依存性は強磁性ナノクラスター分散系に特徴的なS字曲線を示し、また開いた履歴曲線が確認できることからFe@ITOが強磁性であることが分かる。初期磁化過程をランジュバン関数でフィッティングしてクラスターサイズを見積もると6.9 nmであった。

以上のことから、ITOマトリックス中に室温で既に強磁性である6.9 nmの Fe_3O_4 クラスターが分散配置されていると考えられる。この Fe_3O_4 ナノクラスターの局所構造を調べるためXAFS分析を行った。バルク Fe_3O_4 に比べ、原子間距離が大きくなっていると思われる。

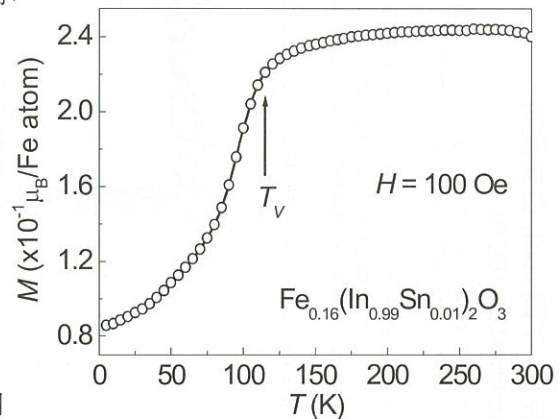


図1 Fe@ITO の磁化温度依存性



透明導電室温強磁性体Fe@ITOのXAFS分析

岡田浩二, 河原克則, 下岡弘和, 古叟重美

九州工業大学大学院工学研究科

Fe₃O₄は10⁻³ Ωcmの桁の抵抗率を示す導電体であり、ハーフメタルの電子構造を有する。そのためフェルミ準位に存在する電子は100%スピンの偏極している。このFe₃O₄をナノサイズのクラスターとしてITO中に分散させることが出来れば、Fe₃O₄から放出された100%スピンの偏極キャリアーとITO中のキャリアーの間で交換相互作用が生じ、100%キャリアースピンの偏極したITOの実現が期待できる。つまり、Fe@ITOではFe₃O₄のt_{2g} ↓状態キャリアーがITOの伝導帯に入り、スピンの依存した電子輸送特性が期待できる。

Fe@ITOの温度依存磁化はFe₃O₄のそれと似ており、約120KでFe₃O₄のVerwey転移が確認できる。磁場依存磁化は強磁性ナノクラスター分散系に見られるようなS字曲線を示した。閉じた履歴曲線が確認でき、Fe@ITOが強磁性であることが分かる。保磁力H_cと飽和磁化M_s、残留磁化M_r、M_r/M_sはそれぞれ110 Oe, 2.1 μ_B/Fe, 0.17 μ_B/Fe, 0.08であった。初期磁化過程をLangvin関数によりフィッティングして見積もったクラスターのサイズは6.9 nmであった。

Fe@ITO粉末をターゲットにし、PLD法によってYSZ基板上にFe@ITO薄膜を製作した。Fe@ITOの透過率は2.5 eVから3 eVまで5%程度緩やかに減少し、3 eV以上ではITOのバンド間遷移によって急激に減少している。つまり、可視光領域では70%以上の透過率を示した。目視ではもちろん透明である。

Fe K端のXENESスペクトルを測定した。メインピークが7135.5 eVに、サブピークが7119.3 eVに存在する。これらのエネルギー差は16.3 eVであり、これはFe₃O₄のそれとほぼ一致している。動径分布関数からFe-O間距離、Fe_B-Fe_B間距離はそれぞれ1.60 Å, 2.78 Åであることがわかる。これはバルクFe₃O₄のそれら(1.40Å, 2.70Å)に比べて大きくなっている。

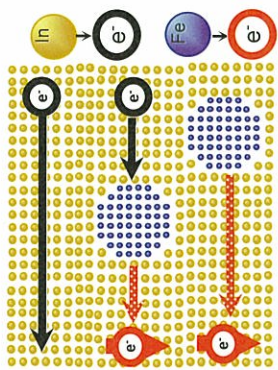
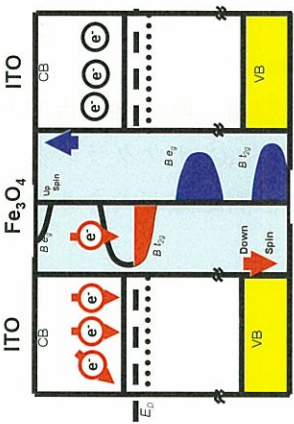


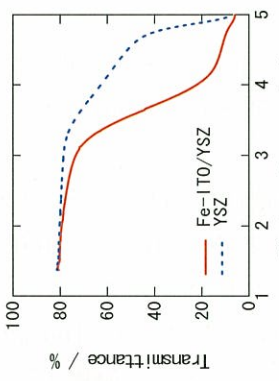
Image of Fe@ITO structure. Nano size Fe₃O₄ clusters are embedded in ITO matrix.



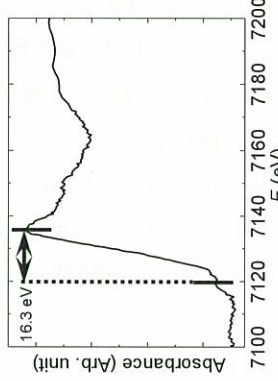
Electronic structure of ITO (semiconductor) and Fe₃O₄ (half metal).



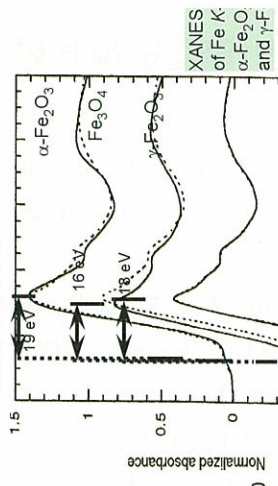
Fe@ITO thin film on YSZ substrate deposited by PLD.



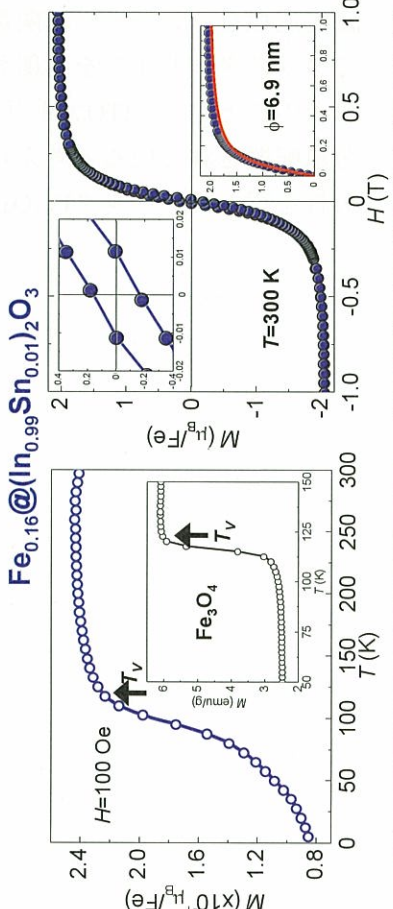
Photon Energy / eV
Transmittance of Fe@ITO thin film on YSZ substrate.



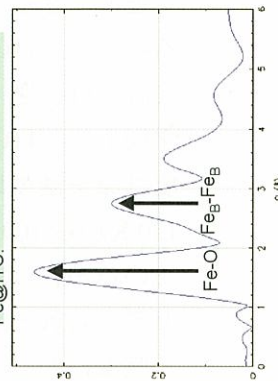
XANES spectrum of Fe K-edge of Fe@ITO.



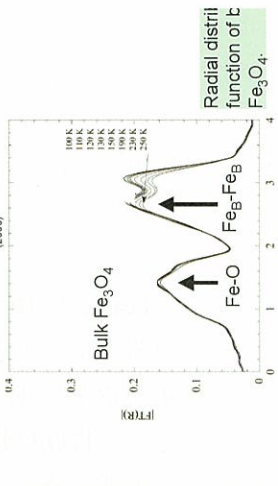
XANES of Fe K-edge of Fe@ITO and bulk Fe₃O₄.



Magnetization depending on temperature of Fe@ITO. Inset shows magnetization of Fe₃O₄ as a function of temperature.



Radial distribution function of Fe@ITO.



Radial distribution function of bulk Fe₃O₄.