

MBE 法により作製したエピタキシャル Co_3FeN 薄膜の XMCD 測定X-ray magnetic circular dichroism of epitaxial Co_3FeN thin film grown by MBE筑波大院 数理物質科学研究科¹, 原子力機構 SPring-8², 産総研³, 広島大院 理学研究科⁴伊藤啓太¹, 佐内辰徳¹, 安富陽子¹, 都甲薫¹, 竹田幸治², 齋藤祐児², 今井庸二³, 木村昭夫⁴ 末益崇¹Inst. of Appl. Phys., Univ. of Tsukuba¹, SPring-8, JAEA², AIST³, Grad. Sch. Sci., Hiroshima Univ.⁴K. Ito¹, T. Sanai¹, Y. Yasutomi¹, K. Toko¹, Y. Takeda², Y. Saitoh², Y. Imai³, A. Kimura⁴ and T. Suemasu¹

E-mail: bk200511420@s.bk.tsukuba.ac.jp

【はじめに】我々は、新たなスピントロニクス材料として、 $\text{Co}_x\text{Fe}_{4-x}\text{N}$ に注目している。 Fe_4N 、 Co_4N 、 Co_3FeN は、理論計算から大きな負のスピンの分極が予想されており¹⁻³、 Co_3FeN については、ハーフメタル性が予想されている。これまでに、分子線エピタキシー(MBE)法により、 $\text{SrTiO}_3(\text{STO})(001)$ 基板上への Fe_4N 、 Co_4N 、 Co_3FeN のエピタキシャル成長に成功した⁴⁻⁶。また、 Fe_4N と Co_4N の磁気モーメントの大きさを、X 線磁気円二色性(XMCD)測定によって評価した^{7,8}。 Co_3FeN については、バルクおよび薄膜試料の作製例がほとんど無く、基本的な磁気物性の評価が進んでいない。本研究では XMCD 測定により、MBE 法により作製した Co_3FeN 薄膜の磁気モーメントを評価した。

【実験】MBE 法により、格子不整合率が 3.9% の $\text{STO}(001)$ 基板上に、基板温度 450°C で固体 Fe と Co、 RF-N_2 を同時供給し、 $\text{Co}_3\text{FeN}(10\text{ nm})$ 薄膜を成長した。続いて、酸化防止のために $\text{CaF}_2(2\text{ nm})$ を室温で堆積した。RHEED、 θ - 2θ XRD により結晶性を、XMCD 測定により磁気特性を評価した。XMCD 測定は、300 K にて試料の面直方向に $\pm 3\text{ T}$ の磁場を印加し、飽和磁化状態で行った。

【結果】図 1 に Co_3FeN 薄膜の RHEED 像と θ - 2θ XRD パターンを示す。RHEED はストリークとなり、XRD には $\text{Co}_3\text{FeN}(002)$ 、 (004) のピークのみが現れたことから、エピタキシャル成長に成功したといえる。図 2 に Co_3FeN 薄膜の Fe $L_{2,3}$ 端、Co $L_{2,3}$ 端、N K 端の XMCD スペクトルを示す。それぞれの吸収端で明瞭な MCD スペクトルが観測され、N の MCD の符号が Fe、Co の逆となり、 Co_4N と同じ傾向を示した。純 Fe、純 Co の標準スペクトルと Co_3FeN のスペクトルに磁気光学総和則を適用し、 Co_3FeN の 3d 軌道のホール数(n_h)と原子 1 個当たりのスピン(m_{spin})および軌道磁気モーメント(m_{orb})を算出した。結果は、 $n_h(\text{Fe})=4.02\pm 0.37$ 、 $m_{\text{spin}}(\text{Fe})=1.84\pm 0.11\mu_B$ 、 $m_{\text{orb}}(\text{Fe})=0.11\pm 0.01\mu_B$ 、 $n_h(\text{Co})=2.59\pm 0.30$ 、 $m_{\text{spin}}(\text{Co})=1.47\pm 0.13\mu_B$ 、 $m_{\text{orb}}(\text{Co})=0.15\pm 0.01\mu_B$ となった。図 3 に XMCD 測定の結果から算出した $\text{Co}_x\text{Fe}_{4-x}\text{N}$ の Co/Fe 比と、ユニットセル当たりの m_{spin} 、 m_{orb} の関係を示す。Co/Fe 比の増加に伴い m_{spin} が減少し、プロットが直線上にのる傾向がみられた。

【謝辞】XMCD 測定はナノネット支援課題(2012B3804)のもと、日本原子力研究開発機構 SPring-8 BL23SU にて行った。

1)S. Kokado *et al.*, Phys. Rev. B **73**, 172410 (2006). 2)Y. Imai *et al.*, J. Magn. Magn. Mater. **322**, 2665 (2010). 3)Y. Takahashi *et al.*, J. Magn. Magn. Mater. **323**, 2941 (2011). 4)K. Ito *et al.*, J. Cryst. Growth **322**, 63 (2011). 5)K. Ito *et al.*, J. Cryst. Growth **336**, 40 (2011). 6)T. Sanai *et al.*, J. Cryst. Growth **357**, 53 (2012). 7)K. Ito *et al.*, Appl. Phys. Lett. **98**, 102507 (2011). 8)K. Ito *et al.*, Appl. Phys. Lett. **99**, 252501 (2011).

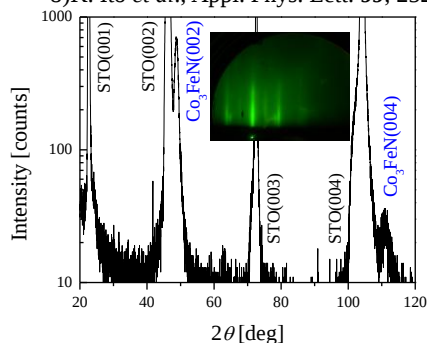


図 1 Co_3FeN 薄膜の θ - 2θ XRD パターンと RHEED 像($\text{Co}_3\text{FeN}[100]$ からの電子線入射)

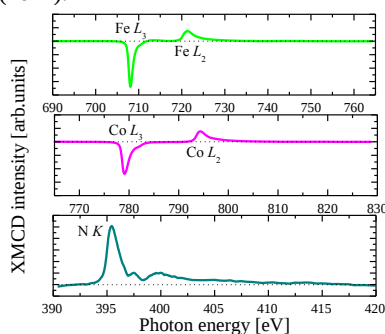


図 2 Co_3FeN 薄膜の XMCD スペクトル

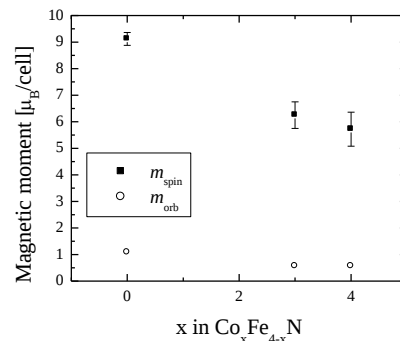


図 3 $\text{Co}_x\text{Fe}_{4-x}\text{N}$ のスピンおよび軌道磁気モーメント