

Si(111)上で原子層レベルの急峻な界面をもつ EuO の MBE 成長

MBE growth of EuO on Si (111) with atomically flat interface

NTT 物性基礎研¹・大杉廉人¹, 尾身博雄^{1,2}, Yoshiharu Krockenberger¹, 藤原聡¹

NTT Basic Research Labs.¹, NTT Nanophotonics Center²

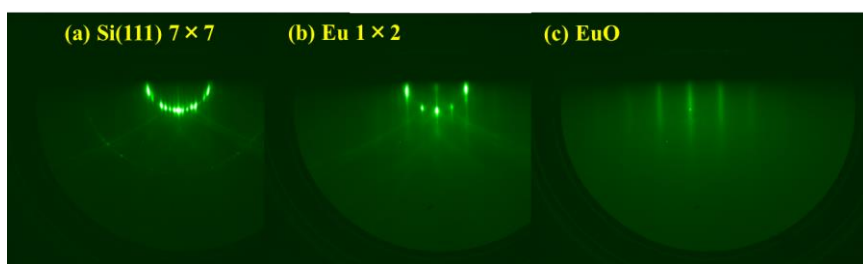
・R. Ohsugi¹, H. Omi^{1,2}, Y. Krockenberger¹, A. Fujiwara¹

E-mail: osugi.rento@lab.ntt.co.jp

現在、シリコン(Si)中のスピン偏極状態を活用する Si スピントロニクスデバイスの研究が注目されている。その代表例として Spin-MOSFET[1]などが挙げられる。これらのスピントロニクスデバイスの動作では、Si 中に高スピン偏極状態を生成する必要がある、一般的には、強磁性体と Si のヘテロ接合を形成し、強磁性体から Si へ電流を注入することにより Si 中にスピン偏極状態を生成する[2]。また、Si 中で高スピン偏極状態を達成するためには、高いスピン偏極率をもつ強磁性体と欠陥密度が小さく原子層レベルで急峻なヘテロ界面が必要である。そこで、我々は、これらの要請を満たすヘテロ接合として、EuO / Si (111)に着目し、Si(111)上に強磁性体 EuO を MBE 成長した。EuO (岩塩構造)は強磁性半導体であり、その伝導帯では温度 69K 以下でスピンの 100 %偏極している。一方、理想表面では Si (111)は Si (001)に比較して表面のダングリングボンドが少ないためヘテロ界面での欠陥準位を少なくすることができ、偏極スピンの高効率注入が期待できる構造である。

EuO の成膜には、酸素分子ガスが導入できる MBE 装置を用いた。化学処理を施した Si (111)基板を MBE チャンバー内で、真空度 1.8×10^{-10} Torr、基板温度 900 °C で加熱することにより(7×7) 表面構造を出現させた。成膜では、まず、Si(111) 7×7 表面に Eu (セル温度 850 °C)を吸着させ、次に、酸素ガス分圧 7×10^{-9} Torr、基板温度 500 ~ 550 °C の範囲で EuO を成長した。

図は、成長中に得られた RHEED パターンの変化である。Si(111)7×7 表面[図(a)]は、Eu を~ 1 ML 蒸着した時に Eu-吸着 (1×2)構造[図(b)]に変化した。次に、この Eu-Si (111) (1×2)上に、基板温度 550 °C、酸素分圧 7×10^{-9} Torr で EuO を 0.16 Å/sec のレートで膜厚 5nm 成膜した時、Si 基板のストリークとほぼ同じ位置にストリークパターン[図(c)]に見られるように平坦な表面をもつ EuO が結晶成長していることがわかった。また、断面 TEM 像は、成長膜が確かに EuO であり、しかも EuO / Eu-Si (111) - (1×2)界面が原子層レベルで急峻であること示した。さらに、SQUID による磁気測定では EuO 膜のキュリー温度が 80 K となり、バルク単結晶 EuO のキュリー温度 77 K[3]に匹敵することが分かった。以上の結果は、今回作製した Si と急峻な界面を持つ EuO の MBE 膜が Si への高偏極率スピン注入源として期待できることを示している。



図(a)-(c)にはEuOの成膜過程における基板表面のRHEEDパターンを示した。それぞれ(a) Si (7×7) 清浄表面、(b) Eu (1×2)終端表面、(c) EuO初期層 (5 nm) のパターンを示す。

[1] S. Sugahara, M. Tanaka, Appl. Phys. Lett. **84**, 2307 (2004).

[2] M. Johnson, R. H. Silsbee, Phys. Rev. B **37**, 5326 (1988).

[3] T. R. McGuire, *et al*, J. Appl. Phys. **34**, 1345 (1963)