

軟X線定在波発光分光による磁性多層膜界面の研究

濱本亮輔、菅原真幸、市倉 繁、江島丈雄、柳原美広
東北大学多元物質科学研究所

Fe/Si 磁性多層膜は次世代の反強磁性結合素子として有望視されている。我々はこれまで軟X線発光分光を用いて層間結合が最も強い Fe(3.0nm)/Si(1.3nm)多層膜の界面を解析した結果、Si 層は Fe 層との相互拡散によりほとんど残らず、厚さが約 0.7nm の FeSi₂ と 0.5nm の Fe₃Si になっていることを明らかにした。これより、層間結合を媒介しているのは、強磁性体である Fe₃Si ではなく、絶縁体、若しくは半導体的な FeSi₂ であり、量子波干渉モデルが妥当であることを示した。しかし、界面を構成する原子の絶対数はもともと少ないので、十分な発光強度が得られない場合がある。従って S/N 比の高いスペクトルを得るためにもこの界面層を効果的に励起する方法が強く望まれる。この難点を克服する方法として期待されるのが、定在波励起による軟X線発光分光である。実際には多層膜試料を媒体として定在波を発生させる。この時、入射角や入射波長を変化させることで定在波の腹を移動させ、目標とする界面からの軟X線発光を効率的に発生させるのである。本研究ではさらに一歩進め、多層膜の上に調べたい Fe/Si/Fe 三層膜を蒸着した試料について定在波発光分光により界面の評価を行った。この場合、下地の多層膜は定在波を効率よく発生させる定在波生成層の役割を担っており、定在波のほとんどはこの生成層で決まる。生成層の設計規準には高反射率多層膜に対するものが適用できる。本方法では、Si 単層膜についてその上下の界面を別々に評価することを期待できる点が重要である。

作製した試料は、Mo(2.3nm)/B₄C(2.7nm)20 周期多層膜上に Fe(3.0 nm)/Si(1.9 nm)/Fe(3.0 nm) 三層膜をマグネトロンスパッタで蒸着したものである。はじめに BL-12A で軟X線反射率計を用いて入射エネルギーに対する全光電子収率を測定し、定在波の状態に対応して周期的な構造が顕著に現れることを確かめた。これは生成層からの定在波が試料の表面まで達していることを示すものである。また、反射率スペクトルから、多層膜の膜厚などのパラメータを最終的に決定した。この試料について BL-16B で Si L_{2,3} 発光測定を行った。まず、Si 単層膜の発光測定が十分出来たことが重要である。また、ブラッグ反射の近傍で入射波長や入射角を変化させて得られた発光スペクトルから見積もられた Fe₃Si、FeSi₂、および a-Si 各層の厚さは、Si 層を中心として Fe₃Si 層と FeSi₂ 層が上下対称に配置するという従来のモデルでは説明できないことが分かった。すなわち、Si 層の下の拡散層では FeSi₂ 層の割合が高く、上では逆に Fe₃Si 層の割合が高くなっているのである。従来の発光分光法は上下の拡散層について平均した値を与えるだけで、今回のような結果は得られない。なお、拡散層の厚さが Si 層の上下で異なることは Mo/Si 多層膜ではよく知られており、Fe/Si の界面でも同様のことが起きていることは十分考えられる。今後は他の方法で上下の界面を評価して今回の結果を検証したい。また、Fe/Si 多層膜の界面の磁性状態と今回の結果の比較も興味深い課題である。