

2008B 萌芽的研究課題

報告書

奈良先端科学技術大学院大学

物質創成科学研究科 ナノ構造磁気科学講座

博士後期課程 3 年（実験時 2 年） 山岸 隆一郎

課題番号： 2008B1745

利用ビームライン： BL39XU

間接交換結合した CoRu 多層膜における Co 層の界面磁性

Interface magnetism of Co layers in exchange-coupled CoRu multilayers

研究の背景・目的

我々は、以前の研究において Ru スペース層により間接交換結合した Co/Ru 多層膜の Ru 界面層に磁気分極成分が誘起されることを観測した。磁気状態が変化するという事は電子状態が変化したということであり、その影響は磁性層にも及ぶことが予想される。Ru をスペース層として用いた間接交換結合は、他の系と比べても強い間接交換結合を示し、実デバイスとして広く用いられているのにもかかわらず、物性の発現機構に言及した体系的な検討はあまりなされていない。また、磁性層の磁気状態が結合強度に及ぼす影響についての言及も少ない。

そこで本測定では Co/Ru 多層膜を用い、Co 層の界面磁気状態を明らかにするために共鳴 X 線磁気反射率測定を行った。Co の界面磁気状態は Ru 系の間接交換結合に大きな影響を与えていることが考えられる。したがって、Co の界面磁気状態を明らかにすることは、Ru 系間接交換結合が示す強い反強磁性的結合機構解明のための重要な情報であると言える。測定では、基板上に成膜した周期構造を持つ Co/Ru 多層膜を試料として、2 kOe の外部磁場を印加して磁気反射率測定を行い、得られた磁気反射率プロファイルのデータを解析することで、Co 層内の深さ方向の磁化分布を明らかにする。また、Ru 膜厚の違う試料を比較する事で、異なる結合状態が Co 層内の磁化分布に与える影響の違いを知ることができる。それぞれの試料における Co 層の磁化分布についての情報から、Co 層の界面磁性が間接交換結合に与える影響が明らかとなる。この知見は、Ru 系間接交換結合の発現条件を解明するための重要な情報となりうる。

測定試料

本測定ではサファイア基板上に成膜した 16 回繰り返しの周期構造を持つ Co/Ru 多層膜を試料として用いた。試料は全て MBE 装置を用いて基板加熱 200°C の条件で作製し、結合状態の確認は振動式磁力計 (VSM) を用いて室温で行った。測定に用いた各試料の略号と膜厚組成は、Co₃₀Ru₅₀ : Nb(20 Å)/[Ru(50 Å)/Co(30 Å)]₁₆/Ru(50 Å)/Nb(400 Å)/Sapphire(11-20) および、Co₃₀Ru₁₀ : Nb(20 Å)/[Ru(10 Å)/Co(30 Å)]₁₆/Ru(50 Å)/Nb(400 Å)/Sapphire(11-20) である。それぞれの試料は、Fig 1. に示したように Ru 膜厚の違いにより、結合状態が異なっている。それぞれの試料は 2 kOe の外部磁場印加時に、Co のみの換算膜厚で計算した磁化がバルクの Co 磁化 (理論値) に対して、それぞれ、Co₃₀Ru₅₀ で 90%、Co₃₀Ru₁₀ で 60% 程度の値まで減少していることが分かる。測定では、各試料の Co 磁性層の外部磁場 (2 kOe) における磁気構造解明を行う。

放射光実験および、測定結果

本測定は BL39XU の Huber 四軸回折計を用いて行った。本研究を実行するためには、電磁石が取り付け可能な四軸 X 線回折装置で 7.7keV 程度の円偏光による回折実験が可能な事や、データの統計性を確保するため、100 万 cps 程度の計数率で X 線の計数が可能な高速検出

器が使用可能であることが重要であるが、BL39XU における微弱な磁気散乱を検出するためのアバランシェフォトダイオード (APD) 検出器と、SR400 高速フォトンカウンタを連動させた高計数率磁気散乱測定システムは、これらの条件を十分に満たしている。測定では試料に磁場を印加するため、Huber 回折計の χ サークルには自作の取り付け治具を用いて小型電磁石を取り付けた。試料は電磁石磁極の中心部に位置するように取り付け、磁場は X 線進行方向に印加した。2 θ アームには、X 線強度調整用の Mo フォイルと APD 検出器を取り付けて測定を行った。一連の測定システムの開発は我々が独自に行っているため、測定毎に必要なセットアップを現地で組み立てている。測定は以下の手順で行った。

1.Co K 吸収端 XMCD スペクトル測定

X 線エネルギーおよび解析に用いるパラメータの決定を行う為、Co フォイルを用いて Co K 吸収端 (7708 eV) 近傍で XMCD スペクトルを測定した。その測定結果を Fig 2. に示す。なお、この結果は磁場と X 線ヘリシティが平行の場合の値に補正してある。この測定結果から、Fig 3. に示したように電荷散乱および、磁気散乱の共鳴散乱振幅 (虚部) を求めた。その後、電荷散乱および、磁気散乱の共鳴散乱振幅 (虚部) に対して Kramers-Kronig 変換を行い、電荷散乱および、磁気散乱の共鳴散乱振幅 (実部) を求めた。測定エネルギーにおける Co の電荷散乱振幅および磁気散乱振幅の実部と虚部の値を、以降の解析で用いる。

2.測定エネルギーの決定

測定試料 (Co/Ru 多層膜) を用い、低角域の電荷散乱ピーク近傍 (2 θ =5.93°) で、回折配置におけるエネルギースキャンを行い、Fig 4.に示したように磁気反射率強度が強く現れるエネルギー (7714 eV) を決定した。以降の測定は X 線エネルギーをこの値に設定して行った。

3.Co K 吸収端電荷散乱測定

試料の膜厚を求めるため電荷散乱測定を行った結果を Fig 5. に示す。各試料では多層膜試料成膜過程に起因するものと考えられる各層の膜厚の揺らぎ (乱れ) により分裂した電荷散乱ピークをもつデータが得られた。なお、これらのデータは Mo フォイル枚数により調整した X 線の強度を補正した値を示している。界面磁気構造を詳細に評価するためには、膜厚解析のデータが非常に重要なため、膜厚の詳細な評価を行った。

解析では、膜厚の揺らぎを詳細に評価するため、通常考慮する合金層および、ラフネスに加えて 0.1%程度の各層内での膜厚の揺らぎを考慮に入れた。また、Co/Ru 多層膜部分の膜構造では、8 回繰り返し構造のそれぞれ異なる膜厚をもつ Ru/Co/Ru/Co 多層膜を仮定し、それぞれに異なる膜厚パラメータを与えた 2 倍周期膜とすることで、解析結果を実際に近づけるように努めた。

この測定により求められたそれぞれの多層膜の Co 層および Ru 層の膜厚は以下のようになる。

Co₃₀Ru₅₀ : Nb(23 Å)/alloy(2 Å)/[Ru(60 Å)/alloy(2 Å)/Co(33 Å)/alloy(2 Å)/Ru(56 Å)/alloy(2

Å)/Co(32 Å)]8/alloy(2 Å)/Ru(60 Å)/alloy(2 Å)/Nb(420 Å)/Sapphire(11-20)

Co30Ru10 : Nb(23 Å)/alloy(2 Å)/[Ru(14 Å)/alloy(2 Å)/Co(32 Å)/alloy(2 Å)/Ru(10 Å)/alloy(2 Å)/Co(31 Å)]8/alloy(2 Å)/Ru(50 Å)/alloy(2 Å)/Nb(420 Å)/Sapphire(11-20)

4. Co K 吸収端共鳴 X 線磁気反射率プロファイル測定

それぞれの試料に対し、電磁石により円偏光 X 線ヘリシティと平行或いは反平行に磁場を印加して、電荷散乱ピーク強度が強くとれる角度周辺で θ - 2θ スキャンによる磁気反射率測定を行った。測定の際の各配置は Fig 6. に示した通りである。

測定の結果得られた各試料の磁気反射率は Fig 7. に示したようになる。

磁気構造解析

測定の結果得られた膜厚と磁気反射率プロファイルから Co 磁気構造の決定を行った。なお、この磁気構造解析には VSM より求められた外部磁場 (2 kOe) での磁化値を参考としている。

磁気構造解明のために用いた Co 層の磁気構造モデルと、その結果得られる磁気反射率シミュレーションの結果、Fig 8. に示したように Co 界面に磁化の消失を仮定したモデルが実際の磁気反射率とよい一致を示すことが分かる。

考察

本測定では、Ru 層を介して間接交換結合を示す Co/Ru 多層膜における強磁性 Co 層の磁気構造の解明を行った。共鳴 X 線磁気反射率法は、磁化が飽和していない状態と、界面 dead layer により磁化が減少している状態を区別することができる。解析結果からは、磁性層の磁化が減少している原因が、磁化が飽和していないために Co 層磁化が一様に減少しているのではなく、Ru と隣接する界面から磁化が消失していくことが分かった。

電荷散乱測定の結果で現れている高角側での周期の短いピーク震動が、多層膜構造の何に起因するものなのか解明できていないため、膜厚のさらに詳細な評価のために検討すべき課題として残る。

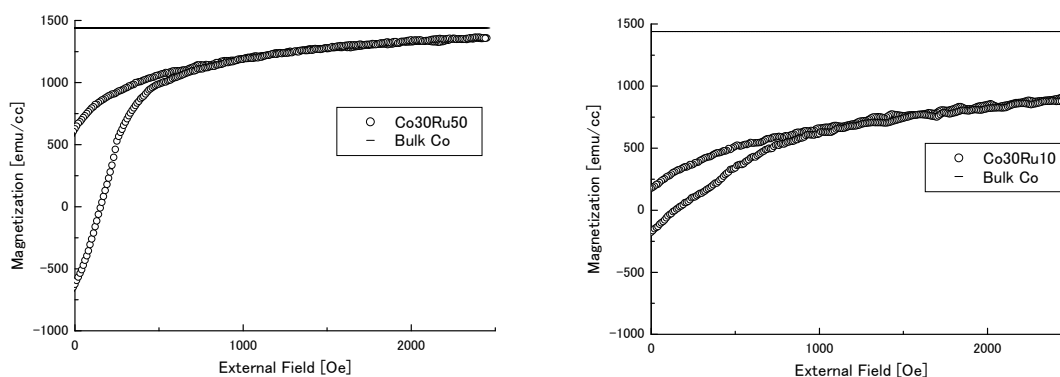


Fig 1. 各試料の結合状態

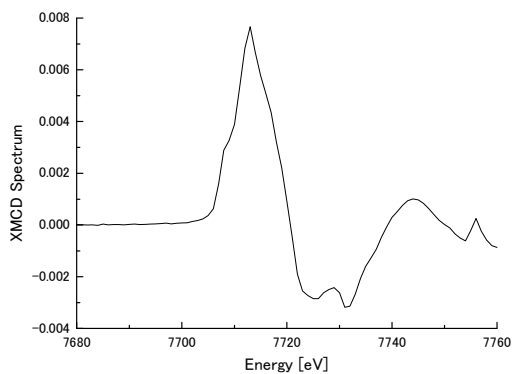


Fig 2. Co フォイルの XMCD スペクトル

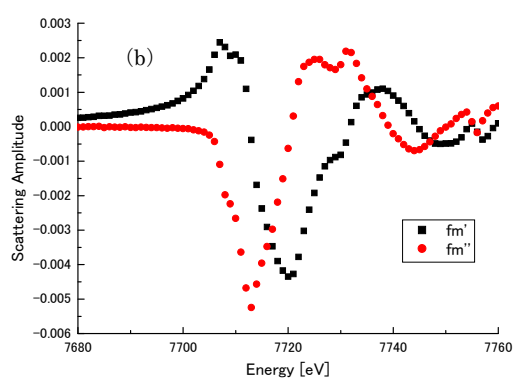
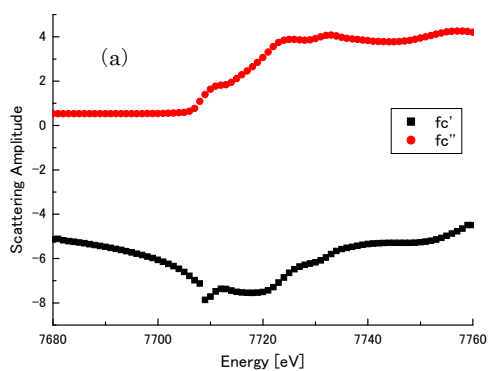


Fig 3. 測定より求めた各エネルギーにおける (a) 電荷および、(b) 磁気散乱強度

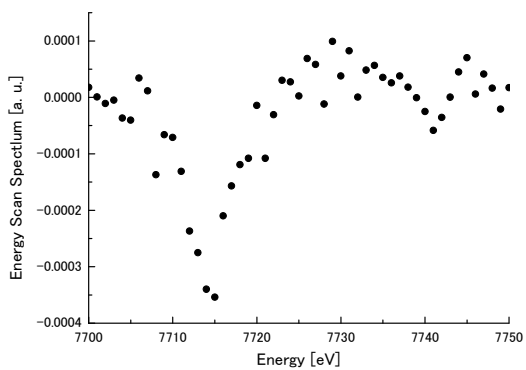


Fig 4. 回折配置におけるエネルギーキャン測定の結果

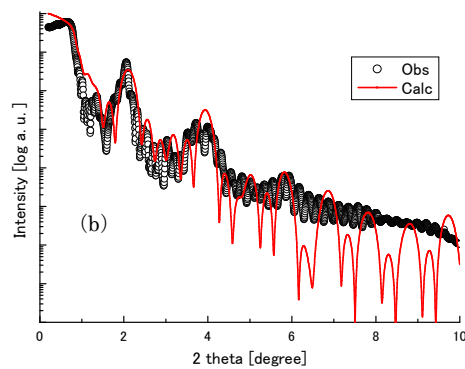
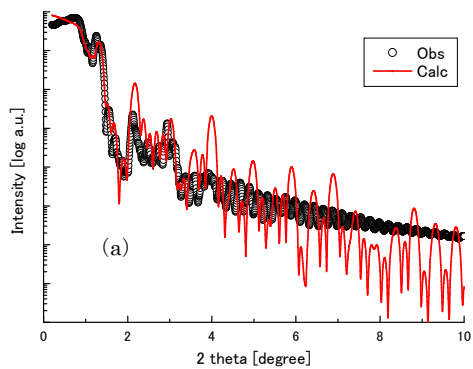


Fig 5. (a) Co₃₀Ru₅₀ および、(b) Co₃₀Ru₁₀ の電荷散乱解析結果

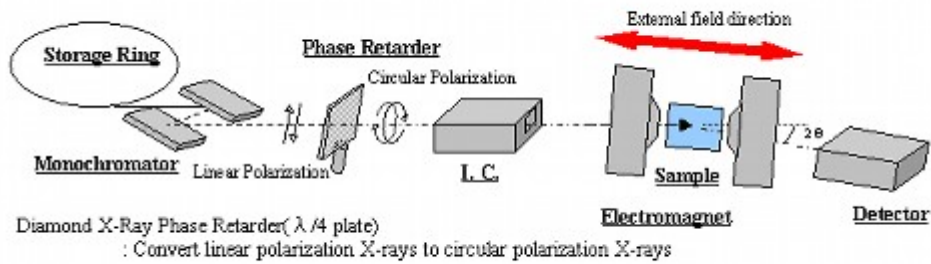


Fig 6. BL39XUにおける測定概略図

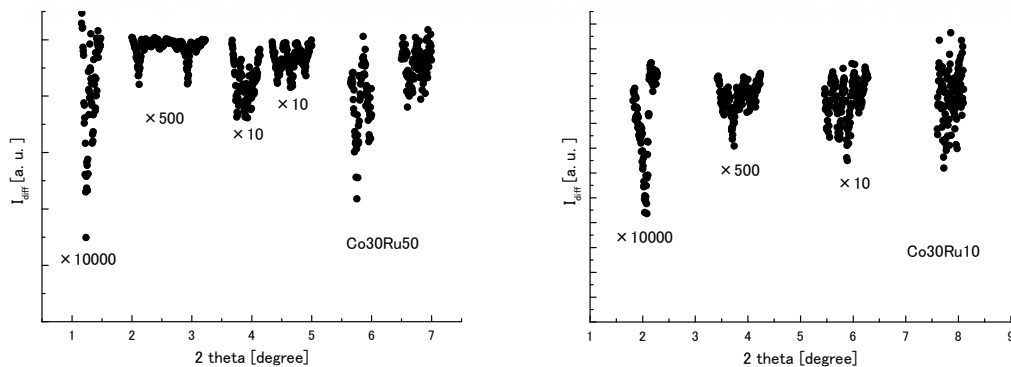


Fig 7. 各試料の磁気反射率スペクトル

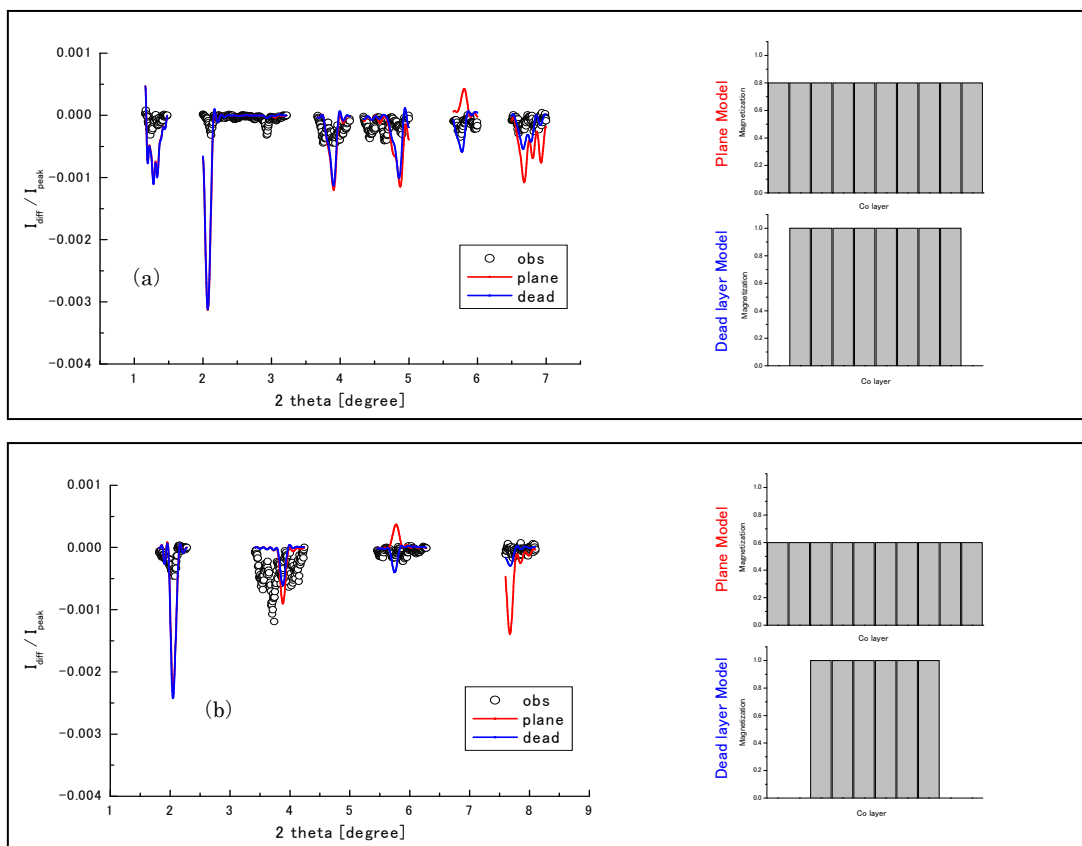


Fig 8. 各試料の磁気反射率シミュレーションと対応する磁気構造

(a) Co30Ru50 における磁気構造と磁気反射率の対応

(b) Co30Ru10 における磁気構造と磁気反射率の対応