

強磁性トンネル接合の微小領域の カーヒステリシスループ測定

Measurement of the Kerr Hysteresis Loop for a Small Area of a Tunnel Magnetoresistance Junction

福本能之・佐藤秀樹・宮崎照宣

東北大学工学研究科, 仙台市青葉区荒巻字青葉 (〒980-8579)

Y. Fukumoto, H. Sato, and T. Miyazaki

Faculty of Engineering, Tohoku University, Aramaki, Aoba-ku, Sendai 980-8579

In order to obtain magnetic hysteresis loops of ferromagnetic tunnel junctions, a Kerr hysteresis apparatus for measuring a small area was made. The diameter of the laser spot was $30\ \mu\text{m}$. We measured the Kerr hysteresis loops for various positions of FeNi($300\ \text{\AA}$)/Al₂O₃($16\ \text{\AA}$)/Co($50\ \text{\AA}$, $200\ \text{\AA}$) junctions with $350 \times 350\ \mu\text{m}^2$ junction area. The switching process of the Kerr hysteresis at the center of a junction corresponded to the magnetoresistive curve. However, the Kerr hysteresis loops measured in the junction area were different from those in the electrode area for both FeNi and Co layers.

Key words: Kerr hysteresis loop, ferromagnetic tunnel junction, FeNi/Al₂O₃/Co, magnetoresistive curve, junction area, electrode area

1. はじめに

最近強磁性トンネル接合をデバイス化するための基礎的な研究が行われている^{1)~3)}。その際、各デバイスに最適なMR曲線を得る必要がある。MR曲線の形はトンネル接合部の両電極の磁化過程に依存していることから、これを直接測定することが望まれる。また、フォトリソグラフィで作製したFeNi/Al₂O₃/Coの微小接合において、接合面積に依存してMR曲線の立ち上がる磁場がシフトすることが報告されている⁴⁾。この物理的意味を解明するためにも接合部の磁化過程を直接測定することが必要である。しかしVSMなどによる測定では接合部のみでなく電極部を含めた接合全体の磁化過程を測定することになる。これに対し磁気カー効果によるカーヒステリシスループの測定は光が当たっている部分のみの磁化過程を反映する。このためスポット径を絞ることにより微小領域の局所的な磁化測定が可能となる。

本研究ではスポット径 $30\ \mu\text{m}$ 程度の微小領域のカーヒステリシスループを測定できる装置を製作して、性能を評価した。次にその装置を用いてトンネル接合の各部分のカーヒステリシスループを測定し、MR曲線との対応を調べた。

2. 装置の製作と評価

偏光面変調法を用いた縦カー配置、最大印加磁界 $1\ \text{kOe}$ のカーヒステリシスループ測定装置を製作した。光源には波長 $633\ \text{nm}$ 、ビーム径 $1\ \text{mm}$ のHeNeレーザーを用いた。焦点におけるスポット径は焦点距離が短いほど小さくなるが、今回は

焦点距離 $50\ \text{mm}$ のレンズを用いた。試料表面に焦点を正確に合わせるため、レンズホルダーにマイクロメーターステージを取り付けて、最小で $10\ \mu\text{m}$ ずつ微動できるようにした。また、試料の任意の場所にレーザースポットを当てることができるように、試料ホルダーにもマイクロメーターステージを取り付け、試料の膜面内方向で2方向に最小で $0.5\ \mu\text{m}$ ずつ微動できるようにした。試料を動かすことによりレーザースポットが当たる場所を変えている。

レーザーのスポット径の評価は以下に述べる方法で行った。SiO₂基板上にCoを長方形に成膜した試料を用い、表面がCoの部分とSiO₂の部分の境界近傍でCo側からSiO₂側へレーザースポットを移動させながら残留カー回転角を測定した。残留カー回転角はCoに当たっている部分のレーザースポットの面積に比例するため、残留カー回転角が小さくなり始めてから0となるまでのスポットの移動距離がスポット径となる。Fig. 1に試料表面に焦点を合わせた場合の残留カー回転角のスポット位置依存性を示す。図よりスポット径が $30\ \mu\text{m}$ 程度まで絞れることが確認された。

3. 実験方法

カーヒステリシスループ測定を行う上で、上部磁性層の膜厚が厚いと下部磁性層まで光が届かないので上部磁性層をある程

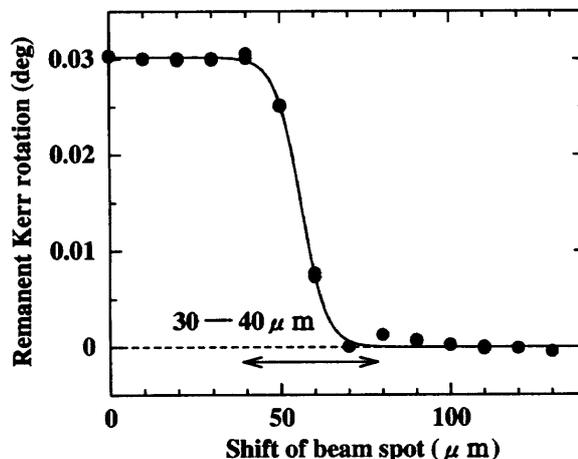


Fig. 1 Change in the remanent Kerr rotation with a shift of the beam spot position. (The distance between the sample and lens is $50\ \text{mm}$.)

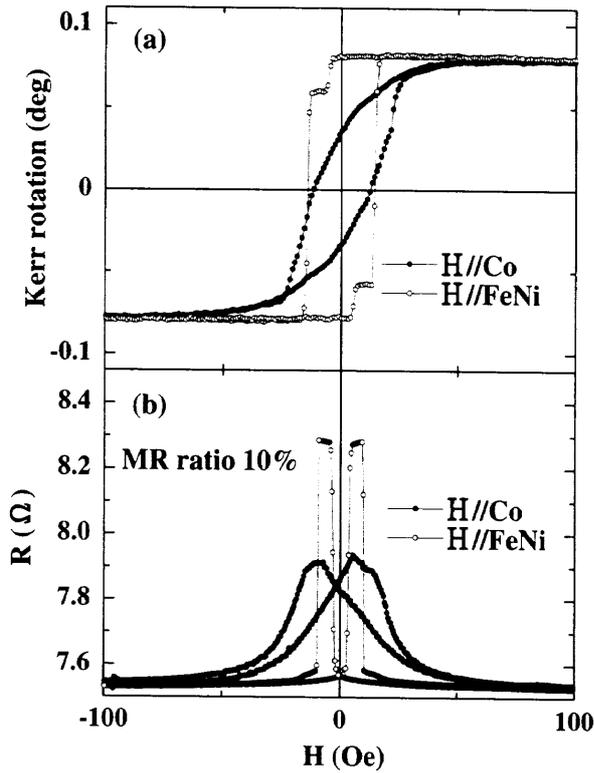


Fig. 2 (a) Kerr hysteresis loops of FeNi/Al₂O₃/(200Å) Co at the center of the measured junction. (b) Corresponding magnetoresistive curves of the tunnel junction.

度まで薄くする必要がある。この点を考慮し、試料として SiO₂/(300Å)FeNi/(16Å)Al₂O₃/(50Å, 200Å)Co をマグネトロンスパッタ法で作製した。到達真空度は 3×10^{-5} Pa 以下である。FeNi および Al は rf スパッタにより、Ar 圧、成膜速度をそれぞれ 0.8Pa, 2.8Å/s, 0.2Pa, 6.0Å/s で作製した。Al₂O₃ 絶縁層は、FeNi 成膜後、Al を基板全体に成膜し、60°C の恒温槽中で 48 時間自然酸化することにより作製した。Co は dc スパッタにより、Ar 圧 9.0Pa, 成膜速度 3.8Å/s で作製した。接合の形状は十字型である。接合面積はいずれも $350 \times 350 \mu\text{m}^2$ でメタルマスクを用いた。磁気抵抗測定は直流四端法を用いて最大印加磁場 130 Oe, 測定電流 0.1~0.5 mA で室温で行った。カーヒステリシスループ測定は製作した装置を用い、入射角 45°, 最大印加磁場 400 Oe で行った。

4. 実験結果および考察

Fig. 2(a) に Co の膜厚が 200Å の試料の接合部中心のカーヒステリシスループを、(b) にその MR 曲線を示す。磁場を FeNi 長手方向に加えた場合はカーヒステリシスループで角形比のよい 2 段階ループが得られており、それに対応して、MR 曲線も鋭い立ち上がりを見せている。一方、磁場を Co 長手方向に平行に加えた場合はカーヒステリシスループで FeNi と Co の磁化が緩やかに磁場方向に回転していくのに対応して抵抗も緩やかに変化している。この場合 FeNi と Co の磁化が完全に反平行状態にならないので抵抗変化率も小さくなっている。

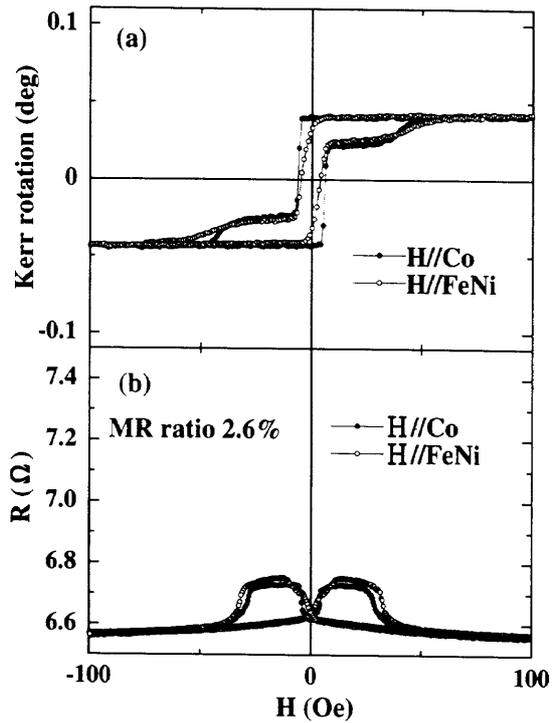


Fig. 3 (a) Kerr hysteresis loops of FeNi/Al₂O₃/(50Å) Co at the center of the measured junction. (b) Corresponding magnetoresistive curves of the tunnel junction.

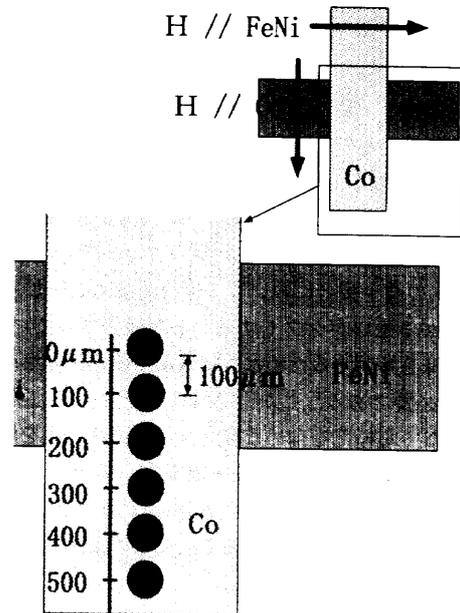


Fig. 4 Schematic illustration of the measurement of the Kerr hysteresis loops of a tunnel junction with a 200Å Co layer thickness.

Fig. 3 に Co の膜厚が 50Å の試料について (a) カーヒステリシスループと (b) MR 曲線を示す。Fig. 2 と比較すると、Co の膜厚がより薄いため、カーヒステリシスループは FeNi のカー回転角が大きく、Co のカー回転角は小さくなっている。また磁気的な異方性が小さくなっている。Fig. 3 においても、接合中心のカーヒステリシスループと MR 曲線はよく

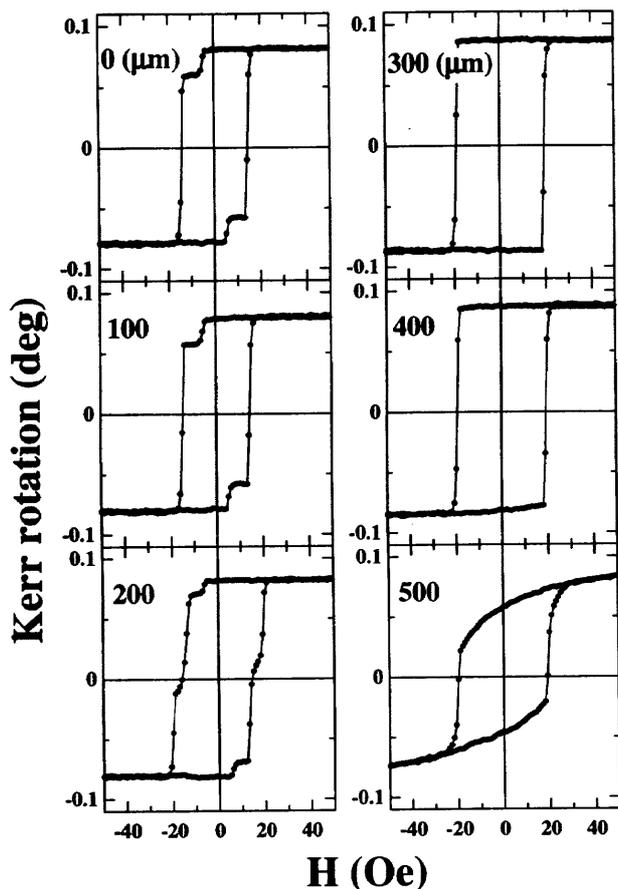


Fig. 5 Kerr hysteresis loops at various positions in the tunnel junction. The applied magnetic field is parallel to the FeNi stripe.

対応している。

次に Co の膜厚が 200 Å の試料について接合の各部分のカーヒステリシスループ測定の結果を示す。Fig. 4 に示すように、接合中心部 (0 μm) から Co 電極方向にレーザースポットを 100 μm ずつ動かしてカーヒステリシスループを測定した。電極の長さが 1.3 mm であるため 500 μm は電極の先端部分に相当する。Fig. 5 に磁場を FeNi 長手方向に加えた場合の各場所でのカーヒステリシスループを示す。カーヒステリシスループは磁場に対して急峻に変化しており、この方向は両磁性層の磁化容易軸方向と思われる。0 および 100 μm は接合部であり、カーヒステリシスループはほぼ同じである。200 μm は境界部にあたり接合部と電極部両方の平均の磁化を測定している。300~500 μm は Co 電極部である。0 μm のカーヒステリシスループと比較すると電極部の Co は保磁力が大きくなっていることがわかる。Fig. 6 は磁場を Co 長手方向に加えた場合の結果である。カーヒステリシスループが磁場に対して緩やかに変化しているため、この方向は両磁性層の磁化困難軸と思われる。Fig. 5 と同様に 0, 100 μm の接合部内のカーヒステリシスループはほぼ一致している。

両磁性層の接合部と電極部が同様な磁化過程をとる場合に接合部で得られるカーヒステリシスループを、以下に述べる方法で電極部 (300 μm) のカーヒステリシスループから計算した。磁場を FeNi 長手方向に加えたときの接合中心のカーヒステリ

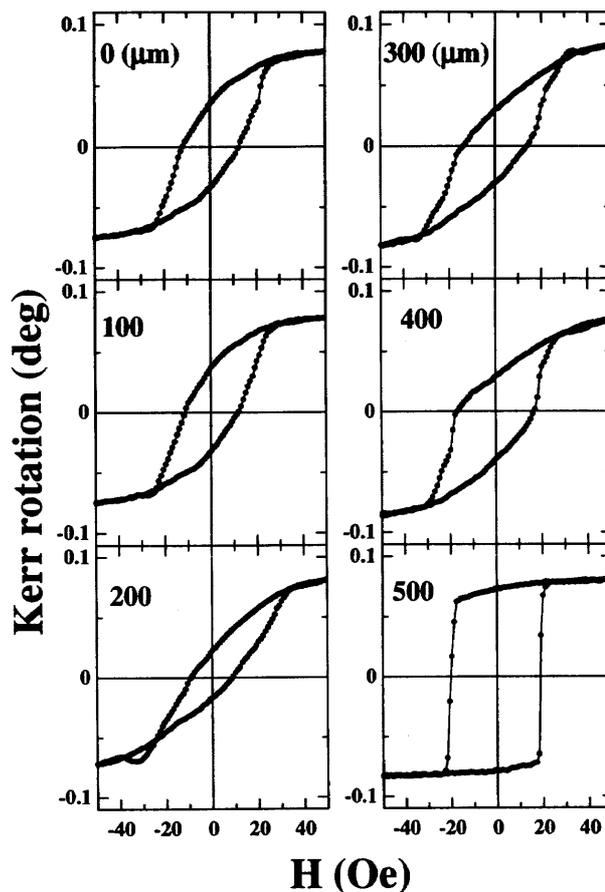


Fig. 6 Kerr hysteresis loops at various positions in the tunnel junction. The applied magnetic field is oriented parallel to the Co stripe.

シスループは、Co, FeNi 各層の飽和カー回転角の大きさへの寄与が明瞭である。この接合部の飽和カー回転角 (θ^j) のうちで FeNi, Co の寄与による飽和カー回転角を $\theta_{\text{Co}}^j, \theta_{\text{FeNi}}^j$ とする。 $\theta^j = \theta_{\text{Co}}^j + \theta_{\text{FeNi}}^j$ である。また同方向に磁場を加えたときの各電極部の飽和カー回転角を $\theta_{\text{Co}}^E, \theta_{\text{FeNi}}^E$ とすると、 $w_{\text{FeNi}} = \theta_{\text{FeNi}}^j / \theta_{\text{FeNi}}^E, w_{\text{Co}} = \theta_{\text{Co}}^j / \theta_{\text{Co}}^E$ を用いて接合中心のカーヒステリシスループ ($\theta_{\text{Cal}}^j(H)$) は

$$\theta_{\text{Cal}}^j(H) = w_{\text{FeNi}} \theta_{\text{FeNi}}^E(H) + w_{\text{Co}} \theta_{\text{Co}}^E(H) \quad (1)$$

と表せる。Fig. 7 に、(1) 式を用いて計算したカーヒステリシスループを実験より得られた接合中心のそれと併せて示す。(a) は磁場を FeNi の長手方向に、(b) は Co の長手方向に加えた場合である。図に見るように、接合部のカーヒステリシスループは両電極部から計算したそれに一致していないことがわかる。FeNi の長手方向に磁場を平行に加えた場合、Co 層の保磁力は接合部の方が電極部に比べ小さくなっていることがわかる。一方、Co の長手方向に磁場を加えた場合、実験では計算で見られるくびれが見られない。これらの原因として ①Co の下地が SiO₂ 基板/Al₂O₃ と、FeNi/Al₂O₃ の差により Co 膜構造が異なること。②接合部で Co と FeNi の間に何らかの相互作用が働いていることが考えられる。これらについてはより詳細な検討を行う必要がある。

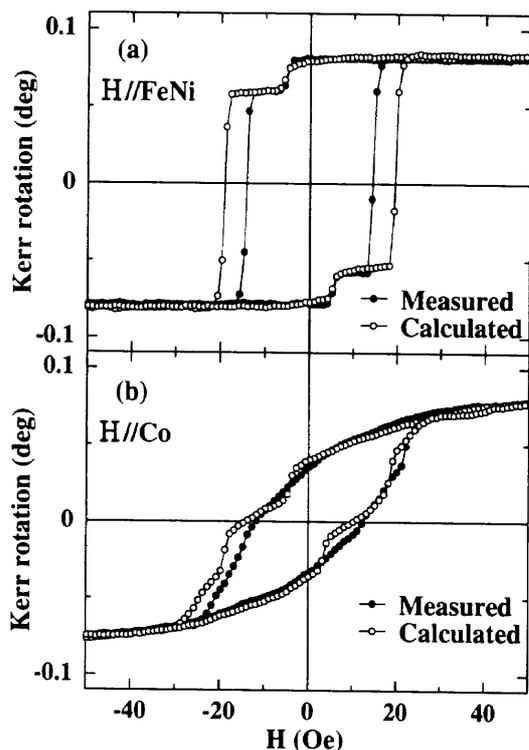


Fig. 7 Kerr hysteresis loops at the center of the junction and loops calculated from the hysteresis loops of the FeNi and Co electrodes. The magnetic field is applied (a) parallel to the FeNi stripe and (b) parallel to the Co stripe.

5. まとめ

- ① $30 \times 30 \mu\text{m}^2$ 程度の微小領域を測定できるカーヒステリシスループ測定装置を製作した。
- ② 接合部のカーヒステリシスループと磁気抵抗曲線はよく対応した。
- ③ 接合面積 $350 \times 350 \mu\text{m}^2$ のトンネル接合部はほぼ一般的な磁気特性を示したが、両磁性層の接合部の磁気特性は電極部のそれとは異なることが明らかとなった。

謝辞 本研究は旭硝子財団研究助成および三菱財団研究助成、新エネルギー産業技術開発機構 (NEDO) 委託業務および同国際共同研究助成、科学研究費補助金 (基盤研究 00840500 および重点領域研究「微小領域の磁性と伝導」09236101)、および情報ストレージ研究推進機構 (SRC) 研究助成により行っている。

文献

- 1) J. M. Daughton: *J. Appl. Phys.*, **81**, 3758 (1997).
- 2) W. J. Gallagher, S. S. P. Parkin, Yu Lu, X. P. Bian, A. Marley, K. P. Roche, R. A. Altman, S. A. Rishton, C. Jahnes, T. M. Shaw, and Gang Xiao: *J. Appl. Phys.*, **81**, 3741 (1997).
- 3) M. Sato and K. Kobayashi: *Jpn. J. Appl. Phys.*, **36**, 200 (1997).
- 4) S. Kumagai, T. Yaoi, and T. Mitazaki: *J. Magn. Magn. Mat.*, **166**, 71 (1997).

1997年10月28日受理, 1997年12月18日採録