

京都大学	博士（理学）	氏名	島村 一利
論文題目	電気二重層を利用した磁性の電界制御		
(論文内容の要旨)			
本研究は Co および Fe の磁性の電界効果について行われたものである。電界効果とは、材料にゲート絶縁層を介して電界を印加することで材料界面の電子濃度を制御し、材料の持つ物性を制御する技術である。電界効果はすでに半導体産業でトランジスタを動作させる技術として応用されている。近年この技術を強磁性体に適用することで磁性を制御する試みが行われるようになってきた。本研究では、ゲート絶縁層に HfO₂ やイオン液体を用いた場合の Co 超薄膜の磁性の電界効果、およびゲート絶縁層にイオン液体を用いた場合の Fe 超薄膜の磁性の電界効果が示されている。 High-κ絶縁膜 (HfO₂) を Co 超薄膜とゲート電極で挟み込んだ積層構造素子を作製し、ゲート電圧印加下で磁性がどのように変化するか調べられている。測定手法には異常ホール効果が用いられている。ゲート電圧±10 V の範囲で印加した際、明瞭な保磁力、およびキュリー温度の変化が観測されている。キュリー温度に関しては、電子数を±0.01 個変調させたとき約 10 K 変調されることがわかった。遷移金属強磁性体のキュリー温度が電界によって制御可能であることを見出した世界で初めての例である。本研究において、電子濃度を増大させ時、キュリー温度および保磁力は増大し、逆に電子濃度を減少させた時、キュリー温度および保磁力は減少することが示された。 また、High-κ絶縁膜 (HfO₂) と比較してより巨大な容量を得ることが可能なイオン液体 (EMI⁺, TFSI⁻) を利用することが試みられた。イオン液体を用いたキャパシタ構造素子では、電圧を印加した際に電極界面に約 1 nm の間隔を有する電気二重層が形成されるため、巨大な静電容量を得ることが可能である。従来、イオン液体を用いて積層構造素子を作製することは難しいと考えられてきた。本研究では、ポリマーフィルムにイオン液体を染み込ませたもの（イオンフィルム）を利用することで、固体ゲート絶縁層を利用する場合と同様に積層構造素子を作製することを実現している。イオンフィルムを用いた時、ゲート電圧印加下で磁性がどのように変調されるか、超伝導量子干渉計 (SQUID) を用いて直接的に磁化測定を行うことから評価している。HfO₂ を利用した場合と比較して、印加電圧 1/5 倍で巨大な保磁力およびキュリー温度の変調が観測されることが明らかとなった。このキュリー温度の変化を残留磁化の温度依存性の測定から見積もると、ゲート電圧±2 V 印加で、キュリー温度が室温を挟んで約 100 K 変調されることが明らかとなった。また、10K において残留磁化の大きさが電子濃度を増大させたとき増大し、電子濃度を減少させたときに残留磁化の大きさも減少することも明らかとなった。±2 V のゲート電圧印加で、Co 原子 1 個当たり電子が約 ±0.1 個変調されている。この結果と、HfO₂ を利用した場合の結果から、電子数変化に対するキュリー温度の関係は同一直線上に表わされることが明らかとなった。 更に、イオンフィルムを Fe 超薄膜とゲート電極で挟んだ積層構造素子を作製し、ゲート電圧を印加した時の磁性の電界効果が調べられている。300 K および 10 K でゲート電圧±2 V 印加した場合の磁化測定を SQUID を用いて行い、電子濃度を増大した場合に飽和磁化の大きさが増大し、電子濃度を減少した場合、飽和磁化の大きさが減少することが明らかとなった。			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、「ゲート絶縁層に HfO_2 を用いた場合の Co の磁性の電界制御」、「電気二重層をゲート絶縁層に用いた場合の Co の磁性の電界制御」および「電気二重層をゲート絶縁層に用いた場合の Fe の磁性の電界制御」の 3 つの内容によって構成されている。

High- κ 絶縁膜 (HfO_2) を Co 超薄膜とゲート電極で挟んだ電界効果素子を作製し、電圧印加下での磁性の変化を異常ホール効果によって用いて測定している。その結果、ゲート電圧 $\pm 10 \text{ V}$ 印加したときに、強磁性-常磁性転移を観測することに成功している。飽和磁気モーメントの温度依存性を測定すると、電子 0.01 個の変調でキュリー温度が 10 K 変調されていることが示された。電界効果によって、遷移金属強磁性体のキュリー温度を制御したのは本報告が世界で初めてであり、学術的に大きな意義を有している。

次に「電気二重層をゲート絶縁層に用いた場合の Co の磁性の電界制御」では、ゲート絶縁層にイオン液体を利用することでより巨大な Co の磁性の変調が報告された。従来イオン液体をゲート絶縁層に用いて積層構造素子を作製することは難しいと考えられてきた。本研究ではイオンフィルムを用いて、固体絶縁層を利用する場合と同様の積層型構造素子を作製することが可能であることが示された。イオンフィルムを Co 超薄膜とゲート電極で挟んだ積層型素子にゲート電圧 $\pm 2 \text{ V}$ を印加した際に、 HfO_2 を用いた場合と比較して、巨大な保磁力およびキュリー温度の変調が生じることが示された。ゲート電圧 $\pm 2 \text{ V}$ の印加した際に、室温を挟んでキュリー温度が約 100 K 変調されていることが示された。イオン液体の利用によって、電子変調量の幅を大幅に広がったことは、今迄に見出されることがない相転移現象が電界効果を用いることで実現する可能性があり、応用の観点からも重要な結果である。

「電気二重層をゲート絶縁層に用いた場合の Fe の磁性の電界制御」では、イオンフィルムを Fe 超薄膜とゲート電極で挟んだ積層構造素子に電圧を印加した際に、飽和磁化の大きさが変調することが示された。電子濃度を増大させた場合には飽和磁化の大きさは増大、電子濃度を減少させた場合には飽和磁化の大きさは減少することが示された。飽和磁化が増減する方向はスレーター・ポーリング曲線における Fe の電子濃度増減させたときの飽和磁化の増減の方向と同一であり、電界効果によって磁性が変調されるメカニズムの一つとして考えられることを示した。

以上のように Co および Fe 超薄膜の磁性を電界印加によって制御可能であることを示したことは、学術的に大きな意味を持っている。また磁性体科学の分野に新たな磁性制御方法を示したことはデバイス応用に向けた新たな可能性を提言したと言える。したがって、本論文は博士 (理学) の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 25 年 1 月 15 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行ない、その結果合格と認めた。

要旨公開可能日： 年 月 日以降