

平成 22 年 5 月 10 日現在

研究種目：若手研究（スタートアップ）

研究期間：2008～2009

課題番号：20840029

研究課題名（和文） 酸化物トランジスタの電界誘起金属相

研究課題名（英文） Electric field induced metallic state in oxide channel field-effect transistors

研究代表者 中村 浩之（NAKAMURA HIROYUKI）

大阪大学・基礎工学研究科・特任助教

研究者番号：90506445

研究成果の概要（和文）：

タンタル（Ta）酸化物の単結晶基板上に電界効果トランジスタ（FET）構造を作製し、表面に誘起される二次元的なキャリアの物性を調べた。電子層の磁気抵抗を 2K 程度の低温で測定した結果、電子の反局在効果という現象を観測した。反局在効果を詳細に解析したところ、従来の半導体の系と比較してスピンの回転長が数 10nm と顕著に短いことがわかった。強いスピン軌道相互作用下におけるスピンと電場の相互作用を理解するうえで興味深い成果であると考えられる。

研究成果の概要（英文）：

Strong spin-orbit coupling effects on electrons induced at transition-metal oxide interface have been investigated by using field-effect transistor (FET) structures. Weak antilocalization of electrons was observed in KTaO_3 interface, whose detailed analysis led to the spin precession length of the order of 10 nm. This extremely short spin precession length could be understood in terms of strong spin-orbit coupling probably coming from Ta 5d conduction bands.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1,320,000	396,000	1,716,000
2009 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,520,000	756,000	3,276,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・物性 I

キーワード：①表面・界面物性 ②誘電体物性 ③強相関エレクトロニクス ④超伝導材料・素子

1. 研究開始当初の背景

遷移金属酸化物の界面に二次元的な電子層を作製したときの電子物性が近年注目されている。例えば、 $\text{LaAlO}_3/\text{SrTiO}_3$ においては、界面での分極の不連続性に由来する誘起キャリアが形成され、その基底状態に関して磁氣的秩序や超伝導の報告がある。しかし、報告例は上記のチタン酸化物の界面など数少ない対象に限られており、このような誘起低次元電子系の基底状態がどのような普遍性を有するのかに関しては未解明である。

ここで特に興味深い点は、超伝導がバルクのチタン酸化物結晶のドーピングによっても観測されるのに対して、磁気秩序の方は（報告が真実だとすると）界面に固有の現象であると期待できることである。

本研究では、電界効果トランジスタのゲート絶縁膜に有機高分子を用いてキャリアの電界制御を行う独自のアプローチで、この酸化物界面の電子相の問題に取り組んだ。これは、例えば上記の分極の不連続性を由来する方式と比較すると、系の選択肢が多いことや、キャリアの変調が連続的に行えることなどが有意な点である。これは、「単結晶トランジスタ方式」では、キャリア濃度を横軸とした電子相図を明確に決められることを意味する。

申請段階においては、これらのことを念頭に、チタン酸化物界面以外の新規の低次元電子系を対象に、キャリア濃度を変数とした電子相図の詳細を明らかにすることを目的とした。当初の対象は亜酸化銅であったが、同時に進めていたタンタル酸化物(KTaO_3)界面での実験において非常に興味深い結果が得られたので、途中からこの系に専念した。

2. 研究の目的

新規な遷移金属酸化物の界面において二次元的な電子層を作製し、その基底状態（低温）での物性、特に磁性と伝導性との相関を調べることを目的とした。

3. 研究の方法

電界効果トランジスタ (FET) 構造を酸化物の単結晶基板上に作製し、ゲート電界によって表面にキャリアを誘起する。この、電場で誘起した電子層における伝導を (1) ゲート電場、(2) 磁場を変数として行い、二次元電子ガスの物性を調べる。

4. 研究成果

タンタル (Ta) を含む酸化物をチャネルとする電界効果トランジスタ (FET) 構造を作製し、界面金属相の実現とその電子物性の理解を旨とした。まず、1つ目の成果として Ta 酸化物界面において電界誘起による界面金属状態の実現に成功したことが挙げられる (図 1)。これは、研究代表者が以前に構築した有機高分子 (パリレン) を絶縁膜とするトランジスタ作成法を当該の酸化物に適用することで実現した。

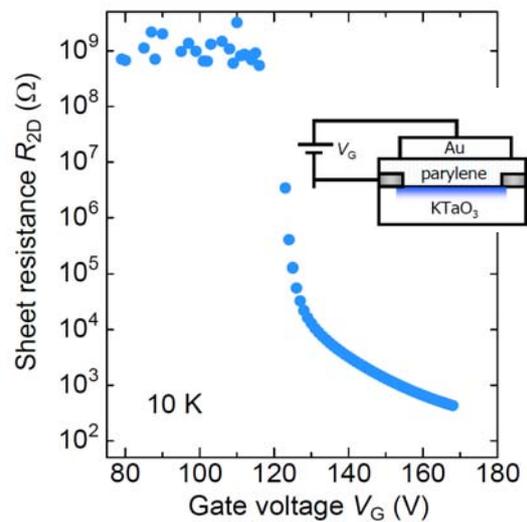


図 1 KTaO_3 界面における抵抗のゲート電圧依存性。

2つ目の成果は、Ta 酸化物界面に誘起された金属状態において強いスピン軌道相互作用の効果を見出したことである。具体的には、ゲート電場によってつくられた界面の閉じ込めポテンシャルの非対称性がスピン軌道相互作用を誘起し、これによってスピンの回転運動する現象 (Rashba 効果) を、酸化物界面では初めて観測した。Rashba 効果はこれまで GaAs などの半導体で既に観測されていたが、今回の Ta 酸化物界面ではスピンの回転長がそれと比較して顕著に (1桁程度) 小さく、数 10nm であることを見出した。

上述のように、Ta 酸化物界面では強力なスピン軌道相互作用が電子スピンに作用することが分かった。しかし、この現象をもたらす機構に関しては未解明である。スピン軌道相互作用のメカニズムを理解するには、実験的には、界面に誘起した電子のキャリア濃度、あるいは界面における電場強度をより正確にコントロールする必要がある。しかし、現行のトランジスタ構造では、ゲート電場のばらつき等が原因で上記の量を再現性良く制御することは困難であった。

研究期間の後半は、トランジスタの閾電場の再現性向上に取り組んだ。その結果、緩衝フッ酸溶液による Ta 酸化物基板の表面処理によって閾電場が大きく変調することを見出した。また、この閾電場の変調は、表面処理によってもたらされた基板の表面抵抗の変化に起因していることがわかった。

以上のように、本研究では酸化物界面の基礎的な電子物性の探求と、それをより精密に行うために必要なデバイス作製の改良に取り組んだ。特に、酸化物界面でのスピン物性に関する研究成果は、シリコンやガリウムヒ素といった従来の半導体を超えた材料系でスピントロニクス研究を展開するうえで、1つの指針と成り得るのではないかと考えている。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① H. Nakamura and T. Kimura, "Threshold electric fields controlled by surface treatments in KTaO_3 field-effect transistors" *J. Appl. Phys.* (査読有), **107**, 074508 (2010).
- ② H. Nakamura and T. Kimura, "Electric field tuning of spin-orbit coupling in KTaO_3 field-effect transistors", *Phys. Rev. B* (査読有) **80**, 121308(R) (2009)

[学会発表] (計 4 件)

- ① H. Nakamura and T. Kimura, "Electric field control of spin precession in KTaO_3 field-effect transistor", APS March meeting, Portland, USA, 17 March 2010
- ② H. Nakamura and T. Kimura, "Strong spin-orbit coupling in KTaO_3 field-effect transistors" 16th International Workshop on Oxide Electronics, Tarragona, Spain, 5 October 2009
- ③ 中村浩之、木村剛、 KTaO_3 界面におけるゲート誘起ラッシュバ効果、日本物理学会秋季大会、熊本大学、2009年9月27日
- ④ 中村浩之、木村剛、 KTaO_3 の電界効果、日本物理学会年次大会、立教大学、2009年3月27日

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中村 浩之 (NAKAMURA HIROYUKI)

大阪大学・基礎工学研究科・特任助教

研究者番号：90506445

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：