

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年5月25日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010 ～ 2012

課題番号：22656142

研究課題名（和文）酸化ニッケル表面のプロトン伝導性の発現とそのエレクトロクロミック素子への応用

研究課題名（英文）Application of proton conduction of nickel oxide nanostructures to electrochromic devices

研究代表者

喜多 浩之（KITA KOJI）

東京大学・大学院工学系研究科・准教授

研究者番号：00343145

研究成果の概要（和文）：

欠陥構造を積極的に導入してイオン伝導性を発現させた酸化物薄膜のデバイスへの新しい応用を検討した。当初目指していたナノ構造を持つ NiO 薄膜では残念ながら期待したイオン伝導は認められなかったのだが、水素導入スパッタリング法で形成した水素含有 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 薄膜は、ドライプロセスのみで積層するエレクトロクロミックセル中でプロトン伝導に基づく電解質として機能する可能性が示された。また、TiO<sub>2-x</sub> 中で電界によって酸素空孔が輸送される性質を利用して、TiO<sub>2-x</sub>/CoFeB 強磁性体薄膜の積層構造の磁気異方性が電圧印加によって不揮発的な変化を示すことを発見し、イオン伝導駆動型の新しい磁性デバイスの可能性を実証した。

研究成果の概要（英文）：

Applications of ionic conduction in defect-induced-oxide thin films for electrical devices were investigated. First, a proton-conducting electrolyte for an all-dry-processed electrochromic cell was demonstrated by using the hydrogenated-Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> films prepared by hydrogen-introduced sputtering, even though nano-structured NiO thin films did not show any expected ionic conduction. Next, voltage-induced nonvolatile change of magnetic anisotropy was demonstrated for TiO<sub>2-x</sub>/ferromagnetic CoFeB stacks, by means of the oxygen vacancy transport in TiO<sub>2-x</sub> layer. This result indicates a possible development of a new type of magnetic device driven by ionic conduction in oxides.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,100,000	0	1,100,000
2011年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2012年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	600,000	3,700,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：材料工学・無機材料・物性

キーワード：先端機能デバイス，表面界面物性，欠陥準位，エレクトロクロミック

## 1. 研究開始当初の背景

新しい機能性材料のデバイス応用には様々な期待がある。遷移金属酸化物薄膜は、欠陥構造の導入によって多くの機能を発現

することが知られていることから、その構造を積極的に制御できれば、新しいデバイス材料としての応用が期待できる。

本研究開始時には特に、窓の光透過量をコントロールするエレクトロクロミック素子

が、冷暖房負荷を抑制する素子として期待されていることに注目した。酸化物への欠陥構造の導入が、プロトン伝導性の発現に寄与すれば、室温で動作可能な電解質として応用できるのではないかと考えた。酸化物は、ポリマー材料に比べて環境耐性が高いことから、電オールオキサイド型の素子が期待できる。

このような構造制御に基づく酸化物の機能は、デバイス材料設計には殆ど生かされてこなかった。例えば遷移金属酸化物の電気抵抗が可逆的に変化する現象は抵抗変化型メモリーへの応用が進められているが、その特性を制御する指針が不明瞭なままである。これらを背景として、本研究は、酸化物の欠陥構造を制御して新しい機能を持つデバイス材料を設計することを目指した。

## 2. 研究の目的

酸化物中のイオン伝導性を、新しい機能として電子デバイスへ応用するためには、積極的に欠陥構造を導入し、それを制御するための方法論の確立が必要である。本研究では、方法論の検討と同時に、具体的なデバイス動作を実証することを目的とした。

尚、デバイスの具体的な例として、エレクトロクロミック素子の固体電解質応用のほか、新しいスピントロニクス素子への応用など多様な応用例を取り上げることとした

## 3. 研究の方法

### (1) ドライプロセスによるプロトン伝導性酸化物の形成とエレクトロクロミック用電解質への応用

まず、ドライプロセスのみでプロトン伝導性を持つ酸化物電解質層の形成を試みた。ここで酸化物層としては、ナノ構造を持つNiO、及び水素を含有するTa<sub>2</sub>O<sub>5</sub>の2種類について検討を行った。前者については昇華性のあるGeO<sub>2</sub>とNiOの混合酸化物をスパッタリング法によって形成後、加熱処理によるGeO脱離を行い、構造制御の効果を検討した。

また、後者については、アルゴンに0~5%の水素を添加した雰囲気中でのRFスパッタリングによって水素導入を試みることにした。水素の含有については赤外吸収分光

(FT-IR)を用いて調べ、また、この電界質層を、着色層としてのWO<sub>3-x</sub>と組み合わせたセルを作製した。ITOコートしたガラス上にまずWO<sub>3-x</sub>層を積層してから、水素ドーピングTa<sub>2</sub>O<sub>5</sub>層、最後にITO電極を積層することで半透明なスタックを形成し、電界印加を行うことによるエレクトロクロミック効果を評価した。

### (2) スピントロニクス素子への応用を目指

## した酸素欠損酸化物/強磁性体スタックの作製と評価

酸素空孔を含む酸化物層を強磁性体薄膜と積層することによる、イオン伝導駆動型のスピントロニクスデバイスの検討を行った。酸化物層として、酸素欠損のあるTiO<sub>2-x</sub>層を用い、Si基板の熱酸化によりつくったSiO<sub>2</sub>膜の上にAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、TiO<sub>2-x</sub>を堆積し、強磁性体としてCo<sub>0.6</sub>Fe<sub>0.2</sub>B<sub>0.2</sub>、さらにTaを成膜し、300°Cの熱処理の後にホール素子を形成した。Si基板をゲート電極として、CoFeBとの間に電圧を印加し、ホール測定によって電圧印加前後の磁化特性の変化を評価した。

## 4. 研究成果

### (1) 水素導入スパッタリング法によるプロトン伝導性酸化物薄膜の作製と応用

プロトン伝導性の酸化物層として、まずナノ結晶からなるNiO層の可能性を検討した。図1のTEM写真は、純NiO膜(立方晶)上に、GeとNiの混合酸化物の層を堆積し、加熱処理したものの断面図である。下地の結晶性NiOに比べ、成長層はナノ粒子からなる構造を形成していることがわかる。しかし、この膜の電気特性を評価したところ、電子伝導は抑制できず、電解質としての検討は中止した。

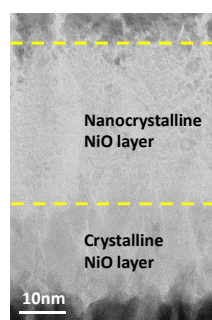
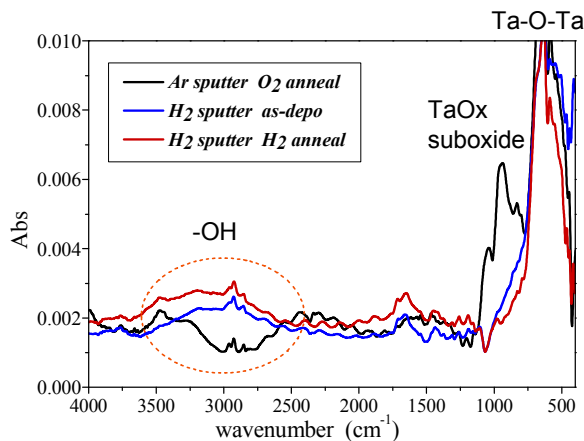


図1 純NiO結晶上に形成した“ナノ粒子からなる”NiO層の断面図。(残念ながら電解質としての特性は得られず)

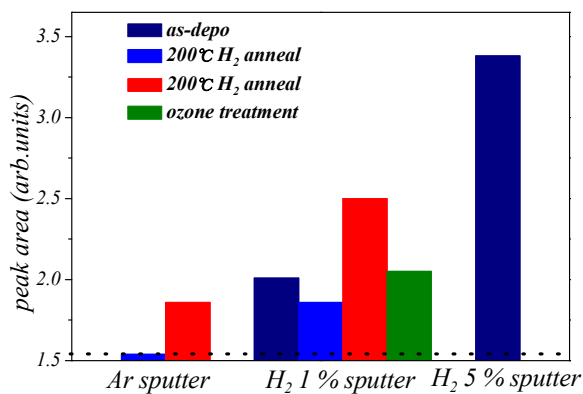
次に、水素ドーピングされたTa<sub>2</sub>O<sub>5</sub>層の形成を検討した。Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>は、水を取り込んで水酸化すると低温でも局所的にプロトン伝導性を示すことが知られており、しかも純粋なTa<sub>2</sub>O<sub>5</sub>は電子絶縁性に優れた酸化物であるため、欠陥構造の制御によって電解質として期待できる。ここではドライプロセスのみで効率よくプロトン-Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>中へ導入する方法として、Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>のRFスパッタリングをアルゴン/水素混合ガス中で試みた。

水素/アルゴン比を0%~5%で変えてTa<sub>2</sub>O<sub>5</sub>の成膜を行ったところ、図2に示すとおり、水素を導入した試料のFT-IRからは2500 cm<sup>-1</sup>

～3500  $\text{cm}^{-1}$ の範囲でブロードな吸収ピークがみられ、-OH 基が導入されていることがわかった。また、**図 3**に比較したとおり、このピークは水素/アルゴン比と強い相関を示し、RF プラズマ中で活性化した水素が膜へ取り込まれたことが示唆された。成膜後に熱処理を加えたところ、400°C以上では FT-IR のピークはほぼ消滅したが、200°Cでは-OH を膜中に残すことが可能であった。加熱雰囲気中に酸素または水素を加えてその影響をみたところ、特に水素では FT-IR のピークがむしろ増大していることから膜中の欠陥構造中にさらに水素が取り込まれたと考えられる。



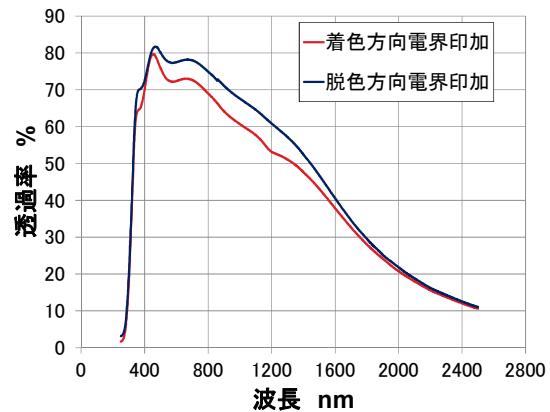
**図 2** 水素ドープ  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  層の FT-IR 測定で確認された OH 基に由来するピーク (3000  $\text{cm}^{-1}$  付近)。Ar スパッタでも水分に由来する -OH が僅かに存在するが、Ar/ $\text{H}_2$  混合スパッタではブロードなピークが現れる。



**図 3**  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  層の FT-IR 測定で観測された -OH 由来のピーク面積の、作成条件による比較。スパッタ雰囲気を導入した  $\text{H}_2$  濃度によって増大し、さらに 200°Cでの水素アニール追加でも増大する。

このように成膜と熱処理によって水素を導入した膜を、 $\text{WO}_3$  と積層してハーフセルとし、ITO 電極で挟んでから電圧を印加したところ、**図 4** のように数%の透過率の変化が観察され

た。即ち、作成した  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  膜は完全にドライプロセスのみで形成されているにも関わらず (水酸化処理された膜ほどでないが) プロトン伝導性を示すことを実証できたと考えられる。一方、インピーダンス解析の結果、プロトン伝導よりも電子伝導が優勢であったことから、電解質として実用のためには電子伝導の抑制は必須である。このような課題が残されているものの、プロトン伝導が可能な酸化物層を、ドライプロセスのみで制御性よく作製できる可能性を示すことができた。



**図 4** ITO/ $\text{WO}_3$ /水素ドープ  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ /ITO のハーフセルの光透過率の電圧印加方向を変えたときの変化。ドライプロセスの酸化物層だけで構成したセルで僅かながら電圧に応答することを実証できた。

## (2) 酸素欠損 $\text{TiO}_{2-x}$ /CoFeB スタックの磁気異方性の電界制御の研究

次に、イオン伝導性酸化物を強磁性体薄膜スタックの中に組み込み、新しい機能を持つ磁性デバイスを開発することを試みた。ここで注目したのは、強磁性体金属は、氧化物との界面で強磁性金属元素と酸素の結合に由来して、界面に垂直な方向の磁化が優勢になるという界面磁気異方性である。

本研究では、強磁性体として CoFeB を選び、それと接する氧化物中に意図的に酸素欠損を導入することとした。酸素空孔を介した酸素イオン伝導を利用し、電界によって酸素空孔を界面近傍に蓄積、または界面から空乏させる操作を可逆的に行うことができれば、強磁性体-酸素間で生じる磁気異方性を変調するという新しい動作が可能になると考えた。つまり外部電界のみで強磁性体の磁気異方性を変調できるという新しい磁性デバイスの可能性である。

既往の強磁性体 CoFeB 薄膜を用いた垂直磁化形成には殆どの場合、トンネル磁気抵抗効果の期待できる  $\text{MgO}$  が用いられてきたのだが、本研究では  $\text{TiO}_{2-x}$  を適用した。**図 5** には、Ti

を低酸素分圧雰囲気酸化で酸化してつくる  $\text{TiO}_{2-\delta}$  層を界面酸化物に用い、膜厚が約 1 nm の  $\text{CoFeB}$  と連続成膜した素子の、面内磁場中での磁化特性を示す。ただし、意図的に酸化の仕方を変えた 2 種類 (less/more oxidized) を比較してある。図からわかる通り、酸化を強く行った  $\text{TiO}_{2-\delta}$  層の試料の方が、相対的に弱い磁場で飽和を示している。飽和磁場 ( $H_{sat}$ ) は垂直界面磁気異方性がはたらくほど小さく観測されるので、不定比性が大きい酸化物を用いると、磁気異方性が低下していることが分かる。界面による垂直磁気異方性が、酸化物中の酸素と強磁性体金属の間の結合によって生じており、界面で形成される酸素-強磁性体金属結合の密度に敏感に応答する。

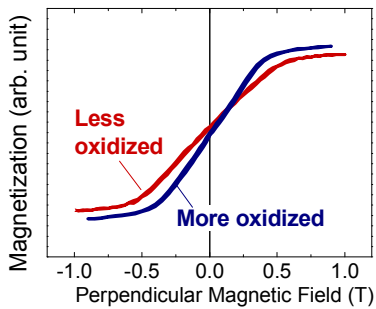


図 5  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_{2-\delta}/\text{CoFeB}/\text{Ta}$  を  $300^\circ\text{C}$  で熱処理して得られたスタックの面内磁場中での磁化特性。  $\text{TiO}_{2-\delta}$  の酸化条件の違う 2 つの試料を比較した。酸化を強く行った試料の方が界面による垂直磁気異方性が強いことが分かる。

次に、酸化の強い方の条件 (more oxidized) を選び、Si 基板上の  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_{2-\delta}/\text{CoFeB}/\text{Ta}$  スタックに、Si 基板と上部の Ta との間に一定時間、数  $\text{MV}/\text{cm}$  の電界を加えたのち、面内磁場中で示す飽和磁場 ( $H_{sat}$ ) の大きさの変化を評価した。その結果を図 6 に示す。  $H_{sat}$  の評価は、印加した電界を一旦開放した後に速やかに測定したものであることに注意されたい。この結果から、電界によって磁気異方性の変化が生じ、しかも電界を開放した後も不揮発的にその状態を保持していることがわかる。

この現象は、酸素イオン伝導性の酸化物と  $\text{CoFeB}$  の界面近傍における酸素空孔濃度が電界によって変調され、しかもその効果が不揮発的に記憶されたものと解釈できる。なぜなら、既に述べた通り、界面磁気異方性は  $\text{TiO}_{2-\delta}$  の不定比性に敏感に反応するからであり、電界による変化の向きとも矛盾していないからである。想像される機構を図 7 に示す。

この実験結果は磁気イオニクスデバイスという、新しいイオン伝導性酸化物の応用の可能性が期待できる結果である。磁気異方性

の変化は、磁気トンネル接合を組み合わせることで情報として読み出せるため、上述の変化は不揮発性メモリーに利用できると期待してよい。本研究で達成したのは動作の原理実証のみであるが、この発見に基づいて、材料選択や構造などを通じた特性向上を行うなど、実デバイスへの応用可能性を検討する価値があると考えている。

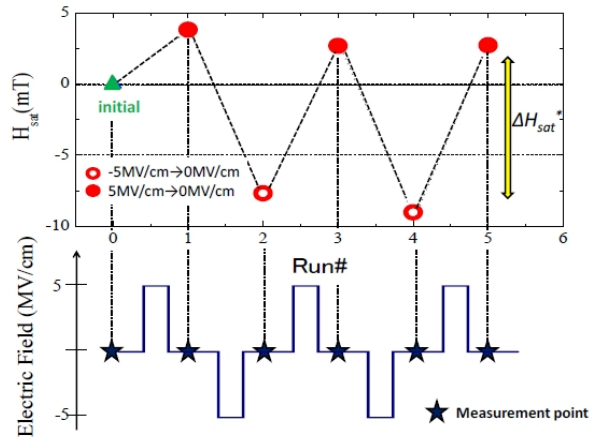


図 6  $\text{Si}/\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_{2-\delta}/\text{CoFeB}/\text{Ta}$  に  $\pm 5 \text{ MV}/\text{cm}$  の電界を 5 分印加の後、電界を開放してから評価する飽和磁場 ( $H_{sat}$ )。電界印加と磁化測定を繰り返した。

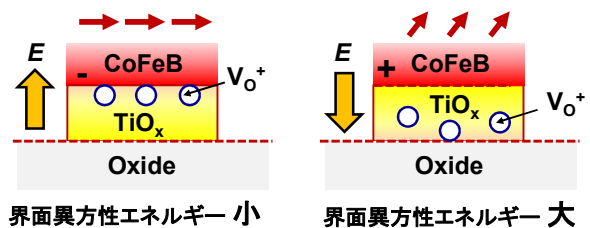


図 7  $\text{TiO}_{2-\delta}$  と  $\text{CoFeB}$  の間にはたらく界面磁気異方性が、印加する電界によって増減するイメージ。電界を開放した後も、酸素空孔の分布が不揮発的に記憶される。

## 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 9 件)

- 1) W. F. Zhang, T. Nishimura, K. Nagashio, K. Kita, and A. Toriumi, "Conduction Band Offset at  $\text{GeO}_2/\text{Ge}$  Interface Determined by Internal Photoemission and Charge-corrected X-ray Photoelectron Spectroscopies", Appl. Phys. Lett. 102, 102106 (2013), DOI: 10.1063/1.4794417.
- 2) Y. Chikata, K. Kita, T. Nishimura, K. Nagashio, and A. Toriumi, "Quantitative

- Characterization of Band-Edge Energy Positions in High-k Dielectrics by X-ray Photoelectron Spectroscopy”, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 52, 021101 (2013), DOI: 10.7567/JJAP.52.021101.
- 3) S. Hibino, T. Nishimura, K. Nagashio, K. Kita, and A. Toriumi, “Counter Dipole Layer Formation in Multilayer High-k Gate Stacks”, *Jpn. J. Appl. Phys.* 51, 081303 (2012), DOI: 10.1143/JJAP.51.081303.
  - 4) K. Kita and A. Toriumi, “Study on Dipole Layer Formation between Two Oxides : Experimental Evidences and Possible Models”, *MRS Proceedings* 1331, k04-01 (2011), DOI: 10.1557/opl.2011.1519.
  - 5) K. Kita, L. Q. Zhu, T. Nishimura, K. Nagashio, A. Toriumi: “Formation of Dipole Layers at Oxide Interfaces in High-k Gate Stacks” *ECS Transactions* 33(6). 463-477 (2010), DOI: 10.1149/1.3487577.
  - 6) 喜多浩之, 王盛凱, 李忠賢, 吉田まほろ, 西村知紀, 長汐晃輔, 鳥海明: “GeO<sub>2</sub>/Ge 界面反応の理解に基づく GeO<sub>2</sub> 膜物性の劣化現象の制御” *電子情報通信学会技術研究報告* 110(90) 55-60 (2010), (<http://www.ieice.org/ken/paper/20100622CaZb/>).
  - 7) S. K. Wang, K. Kita, C. H. Lee, T. Tabata, T. Nishimura, K. Nagashio, and A. Toriumi, “Desorption kinetics of GeO from GeO<sub>2</sub>/Ge structure” *J. Appl. Phys.* 108, 054104 (2010), DOI: 10.1063/1.3475990.
  - 8) K. Kita, A. Eika, T. Nishimura, K. Nagashio, and A. Toriumi, “Resistive Switching Behaviors of NiO Bilayer Films with Different Crystallinity Layers”, *ECS Trans.* 28 (2) 315 (2010), DOI: 10.1149/1.3372585.
  - 9) L. Q. Zhu, K. Kita, T. Nishimura, K. Nagashio, S. K. Wang, and A. Toriumi, “Observation of Dipole Layer Formed at High-k Dielectrics/SiO<sub>2</sub> Interface with X-ray Photoelectron Spectroscopy” *Appl. Phys. Express* 3, 061501 (2010), DOI: 10.1143/APEX.3.061501.
- [学会発表] (計 17 件)
- 1) 栗原隆帆, 古場治朗, 宮川成人, 喜多浩之  
「MOx/CoFeB 界面磁気異方性の様々な M に  
対して普遍的な電圧応答」 第 60 回 応用  
物理学会春季学術講演会 29a-A8-2 (2013  
年 3 月 29 日, 神奈川工科大学 (厚木)) .
  - 2) 張文峰, 西村知紀, 長汐晃輔, 喜多浩之,  
鳥海明「XPS による GeO<sub>2</sub>/Ge 界面の価電子  
帯バンドオフセットの決定」第 60 回 応用  
物理学会春季学術講演会 (2013 年 3 月 29  
日, 神奈川工科大学 (厚木)) .
  - 3) 張文峰, 西村知紀, 長汐晃輔, 喜多浩之,  
鳥海明「Internal Photo-emission 法によ  
る GeO<sub>2</sub>/Ge 界面における伝導帯バンドオ  
フセットの決定」第 60 回 応用物理学会春  
季学術講演会 (2013 年 3 月 29 日, 神奈川  
工科大学 (厚木)) .
  - 4) J. Koba, T. Kuribara, N. Miyakawa, and  
K. Kita, “Characterization of Voltage  
Control of Magnetic Anisotropy up to 8  
MV/cm by Using Substrate Bias  
Structure”, 12th Joint MMM/Intermag  
Conference, BF-05 (2013 年 1 月 13 日,  
米国 Chicago 市).
  - 5) K. Kita and D. C. Worledge, “Challenges  
and Opportunities in Voltage Control of  
Magnetic Anisotropy of Ultrathin  
Ferromagnetic Metals for Future  
Spintronics”, International Conference  
on Emerging Advanced Nanomaterials  
(ICEAN2012) (2012 年 10 月 22 日, オース  
トラリア, Brisbane 市) 招待講演.
  - 6) S. Hibino, T. Nishimura, K. Nagashio, K.  
Kita and A. Toriumi, “Interface Dipole  
Cancellation in SiO<sub>2</sub>/High-k/SiO<sub>2</sub>/Si  
Gate Stacks”, 2012 Pacific Rim Meeting  
on Electrochemical and Solid-State  
Science (PRiME 2012), (2012 年 10 月 9  
日, 米国 Honolulu 市).
  - 7) W. Zhang, T. Nishimura, K. Nagashio, K.  
Kita and A. Toriumi, “Conduction  
Band-offset in GeO<sub>2</sub>/Ge Stack Determined  
by Internal Photoemission  
Spectroscopy”, 2012 Pacific Rim Meeting  
on Electrochemical and Solid-State  
Science (PRiME 2012), (2012 年 10 月 9  
日, 米国 Honolulu 市).
  - 8) K. Kita, T. Nishimura, K. Nagashio, and  
A. Toriumi “Control of Ge/High-k  
Interface for Ge CMOS Technology”, 39th  
Conference on the Physics and Chemistry  
of Surfaces and Interfaces (PCSI-39)  
(招待講演) (2012 年 1 月 25 日, 米国  
SantaFe 市)
  - 9) K. Kita, D. W. Abraham, M. J. Gajek, and  
D. C. Worledge, “Electric-field Induced  
Change of Magnetic Anisotropy in

- CoFeB/Oxide Stacks”, 56th Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM) (2011年11月2日 米国 Scottsdale 市).
- 10) K. Kita and A. Toriumi, “Study on Dipole Layer Formation between Two Oxides : Experimental Evidences and Possible Models”, 2011 MRS Spring Meeting (2011年4月27日, 米国 San Francisco 市) 招待講演.
- 11) 小橋啓史, 喜多浩之 「ECセル用 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 薄膜へのプロトン導入法による導電性の変化」電気化学会 第79回大会 (2012年3月31日, 浜松市)
- 12) 喜多浩之, 西村知紀, 長汐晃輔, 鳥海明 「CMOS ゲートスタック応用へ向けた GeO<sub>2</sub>/Ge 界面反応の理解」第31回表面科学 学術講演会 (2011年12月17日, 東京都江戸川区) 招待講演.
- 13) K. Kita, “Understanding of GeO<sub>2</sub> Material Properties for Advanced Ge MIS Stacks” The 41th IEEE Semiconductor Interface Specialists Conference (SISC), (2010年12月8日, 米国 San Diego) 招待講演.
- 14) K. Kita, L. Q. Zhu T. Nishimura, K. Nagashio, and A. Toriumi, “Formation of Dipole Layers at Oxide Interfaces in High-k Gate Stacks” The 218th Electrochemical Society Meeting (2010年10月12日, 米国 Las Vegas) 招待講演.
- 15) 喜多浩之, 王盛凱, 李忠賢, 吉田まほろ, 西村知紀, 長汐晃輔, 鳥海明, “GeO<sub>2</sub>/Ge 界面反応の理解に基づく GeO<sub>2</sub> 膜物性の劣化現象の制御” 応用物理学会シリコンテクノロジー分科会/電気通信学会合同研究会「ゲート絶縁薄膜, 容量膜, 機能膜およびメモリ技術」(2010年6月22日, 東京大学, 目黒区).
- 16) K. Kita, A. Eika, T. Nishimura, K. Nagashio, and A. Toriumi, “Resistive switching in NiO bilayer films with different crystallinity layers”, International Symposium on Technology Evolution for Silicon Nano-Electronics (ISTESNE) (2010年6月4日, 東京工業大学, 目黒区).
- 17) K. Kita, A. Eika, T. Nishimura, K. Nagashio, and A. Toriumi, “Resistive switching in NiO bilayer films with different crystallinity layers”, The 217th Electrochemical Society Meeting (2010年4月27日, カナダ Vancouver).

〔図書〕 (計3件)

- 1) Editors: S. Kar, S. Van Elshocht, K. Kita, and D. Misra, ECS Transactions Vol. 50, No.4, “Dielectric Materials and Metals for Nanoelectronics and Photonics 10”, The Electrochemical Society, Pennington, NJ, USA (2012年10月).
- 2) Editors: S. Kar, M. Houssa, S. Van Elshocht, D. Misra, and K. Kita, ECS Transactions Vol. 41, No.3, “Physics and Technology of High-k Materials 9”, The Electrochemical Society, Pennington, NJ, USA (2011年10月).
- 3) Editors: S. Kar, M. Houssa, S. Van Elshocht, D. Landheer, D. Misra, and K. Kita, ECS Transactions Vol. 33, No.3, “Physics and Technology of High-k Materials 8”, The Electrochemical Society, Pennington, NJ, USA (2011年10月).

〔産業財産権〕

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

〔その他〕

研究室ウェブページ

<http://www.scio.t.u-tokyo.ac.jp/index.html>

<http://www.adam.t.u-tokyo.ac.jp/top.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

喜多 浩之 (KITA KOJI)

東京大学・大学院工学系研究科・准教授  
研究者番号: 00343145

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし