

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 22 日現在

機関番号：16301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26870416

研究課題名(和文) 不活性Si(110)表面の1次元構造を利用した高誘電体超薄膜作製と薄膜物性評価

研究課題名(英文) Fabrication of High Dielectric Ultrathin-Film Utilizing Inactivated Si(110) Single Domain Surface and Evaluation of Its Physical Property

研究代表者

垣内 拓大 (Kakiuchi, Takuhiro)

愛媛大学・理工学研究科・講師

研究者番号：00508757

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、半導体素子開発の持続的成長のため次世代半導体基板材料として期待されるSi(110)-16×2清浄表面上に高誘電体材料である酸化ハフニウム(HfO₂)の超薄膜を作製し、光電子分光法やコインシデンス分光法を用いて埋もれた界面物性を観測・評価した。作製したHf/SiO_x/Si(110)とHfO₂/SiO_x/Si(110)の同じ化学組成比を示すSiO_x界面から放出されたオージェ電子スペクトルの異なる構造を観測した。これは、表面Hfの化学状態や表面構造によって界面物性が異なることを示している。本成果より、原子スケールの半導体素子の開発には界面物性の制御も必要であることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：In this study, we have fabricated the ultra-thin hafnium dioxide (HfO₂) film with a high dielectric constant on clean Si(110)-16x2 surface, which is a next-generation Si substrate material, for sustainable semiconductor device development. And, we have evaluated the physical properties at interface of Hf/SiO_x/Si(110) and HfO₂/SiO_x/Si(110) ultrathin films with photoelectron spectroscopy and coincidence spectroscopy. As a result, we have observed the difference structures of Si L23VV Auger-electron spectra at same SiO_x interface components between Hf/SiO_x/Si(110) and HfO₂/SiO_x/Si(110). These results indicate that physical property at interface where has same SiO_x components is different depending on chemical state and structure of Hf located at surface. From our result, the development of atomic scale semiconductor device needs control of physical property at interface.

研究分野：表面科学、量子化学、構造化学

キーワード：薄膜 表面物性 界面物性 光電子分光 コインシデンス分光 半導体 高誘電体 MOS-FET

1. 研究開始当初の背景

Si 半導体産業における MOS-FET の開発では、ゲートスタック構造の極小化に伴い、3 nm を切ったゲート絶縁膜を流れるゲートリーク電流が問題となっている。申請者は、ゲートリーク電流の発生原因を解明するため、Si 単結晶表面に作製した酸化ケイ素 (SiO_2) および窒化シリコン (Si_3N_4) 超薄膜の表面界面の構造に依存した局所価電子状態の変化を定量的に研究してきた。そこで、本研究では、次世代基板材料として期待される Si(110) 基板の上に高誘電率ゲート絶縁膜として期待される酸化ハフニウム (HfO_2) の超薄膜を作製し、埋もれた界面準位および薄膜化によって現れる表面準位の観測を計画した。本研究の成果は、普及の著しいタブレット端末等の超高速化、安定動作の保障、および省エネ化を実現化し、Si 半導体産業の持続的発展に貢献する。

2. 研究の目的

Si(110) の清浄表面は、 16×2 の表面超構造を示し、エレクトロマイグレーション法によって $[1\bar{1}2]$ もしくは $[\bar{1}12]$ 方向に 1 次元 (シングルドメイン、SD) 構造を形成する。さらに、表面のホール移動度が他の面に比べ 1.5 ~ 2.5 倍高いという特徴を持つ [1]。また、近年、Si(110)- 16×2 SD 清浄表面の表面構造モデルとして、5 つの表面サイト (SC1-SC5) からなる Adatom-Buckling (AB) model が提唱され、ますます注目を集めている [2]。しかし、この表面は、活性が高く反応性に富むことが問題であったが、近年水素原子で終端することによって不活性化でき、超高真空中から大気へ取りだしても表面一次元構造の単一ドメインを保持することが報告されている [1]。

一方、従来の SiO_2 ゲート絶縁膜に代わるゲート絶縁膜材料として、2007 年以降、酸化ハフニウム (HfO_2) を中心とした高誘電体 (high- k) 材料に注目が集まっている。high- k 材料は、 SiO_2 換算膜厚を薄くしつつ、実際のゲート絶縁膜厚に厚みを持たせることができるので、ゲートリーク電流を抑制することが可能である。そこで、表面 1 次元構造を示す Si(110)- 16×2 を不活性処理し、表面に Si(110) 基板の 1 次元 (Single Domain; SD) 構造を保持させたまま HfO_2 等の超薄膜を作製して薄膜物性を解明することができれば、原子スケールでのマルチプルゲートスタック構造への応用が期待できる。近年、大手半導体企業 I 社は 22 nm 世代のマイクロプロセッサ製品にマルチプルゲートスタック構造 (tri-ゲート構造) の導入を宣言したため、さらに 1/10 以下にスケールダウンしたマルチプルゲート構造を創製する研究は今後ますます注目されると期待される。本研究では、

Si(110)- 16×2 清浄表面の水素化による表面構造と表面局所価電子状態の研究、Si(110)- 16×2 清浄表面に Hf を蒸着させ酸化させたときの表面構造の観測および界面局

所価電子状態の解明を行った。

3. 研究の方法

Si(110)- 16×2 清浄表面の作製

Si(110)- 16×2 SD 清浄表面は、 6.0×10^{-8} Pa 以下の超高真空槽内で $[1\bar{1}2]$ 方向に電流を流すことによって、1260 でフラッシング、930 で 3 秒アニール、60 秒かけて 660 まで下げてそのまま 30 秒間のアニール、その後 650 で 10 分間のアニールを行うことにより作製した。

Si(110)- 16×2 清浄表面の水素化

水素原子 (H) は、水素分子 (H_2) を 1800 に加熱したタングステンフィラメント上で熱解離させることで発生させた。そして、Si(110)- 16×2 SD 清浄表面へ 25、35、50、100、200、および 300 Langmuir (L, $1 \text{ L} = 1.3 \times 10^{-4} \text{ Pa} \cdot \text{sec}$) 曝露することで水素化 Si(110) 表面 (H/Si(110)) を作製した。

Si(110)- 16×2 清浄表面への Hf の蒸着と酸素ガス暴露による酸化

Hf は、市販の AEV-11 (株)AVC 製) を使用し融点まで加熱し、 $4 \times 10^{-3} \text{ \AA}/\text{sec}$ の蒸着レートで Si(110)- 16×2 SD 清浄表面へ蒸着し、膜厚が約 10 \AA 程度の Hf/Si(110) 超薄膜試料を作製した。以下、10- \AA -Hf/Si(110) と表記する。Hf の 1 原子層が 2.4 \AA であることから、約 4 層堆積していると考えられる [3]。10- \AA -Hf/Si(110) に酸素ガス (O_2 , 99.5%) を 200 L 曝露した。さらに、10- \AA -Hf/Si(110) を 700 でアニール処理後し、 O_2 (純度: 99.5%) を 200 L 曝露した。

試料表面の構造・組成・物性評価

上記、で作製した試料の表面構造は、低速電子回折 (LEED) 像を観測することで評価した。同試料の表面界面組成は、放射光施設 Photon Factory の BL11D に設置された電子-電子-イオンコインシデンス (EEICO) 分光装置を用いて Si 2p X 光電子スペクトル (XPS) および Hf 4f XPS を測定して解明した。ここで、EEICO 分光装置は、同軸対象鏡型電子エネルギー分析器 (ASMA) とダブルパス円筒鏡型電子エネルギー分析器 (DP-CMA) が同軸同焦点で構成されている [4]。また、EEICO 分光装置を用いて価電子帯の XPS および Si $L_{23}VV$ オージェ電子-Si 2p 光電子コインシデンススペクトル (Si- $L_{23}VV$ -Si-2p APECS) を測定することによって、表面界面の物性を評価した。Si- $L_{23}VV$ -Si-2p APECS は、EEICO 分光装置の DP-CMA で特定化学状態にある Si 原子から放出された Si 2p 光電子を検出し、マルチチャンネルスケラー (MCS) のトリガーシグナルとする。一方、同じ原子からほぼ同時に放出された Si $L_{23}VV$ オージェ電子を ASMA で検出し、MCS の入力シグナルとして検出することで特定原子からのみ放出された Si- $L_{23}VV$ -Si-2p APECS を測定した。



Fig. 1 Si(110)-16×2 清浄表面の LEED 像。

4. 研究成果

Si(110)-16×2 清浄表面

Fig.1 は、3. で作製した Si(110)清浄表面の LEED 像である。 $[\bar{1}12]$ 方向に 1 次元的に伸びた 16×2 超構造を示した。以下、Si(110)-16×2 SD 清浄表面と記す。Fig. 2 は、Si(110)-16×2 SD 清浄表面の(a) 表面敏感モード ($h\nu = 130$ eV)、(b)バルク敏感モード ($h\nu = 70$ eV)で測定した Si 2*p* 内殻光電子スペクトル (PES) である。横軸は、バルク成分の Si 2*p*_{3/2} ピークを 0 eV とした相対的結合エネルギー (*ReBE*) スケールである。Fig. 2 (a) は、Voigt 関数を用いて 5 つの表面サイト SC1-SC5 と Bulk サイトに成分分離した。各ピークにおける Si 2*p*_{3/2} と Si 2*p*_{1/2} の Spin-Orbit coupling 分裂幅は 0.6 eV、Si 2*p*_{3/2} と Si 2*p*_{1/2} の強度比 ($\text{Si } 2p_{1/2}/\text{Si } 2p_{3/2}$) は 0.5、全てのピークのローレンツ幅は 0.08 eV、ガウス幅は 0.35 eV と固定してフィットした。Si 2*p* Bulk を基準とした各表面サイト SC1-SC5 までのケミカルシフト量は文献値

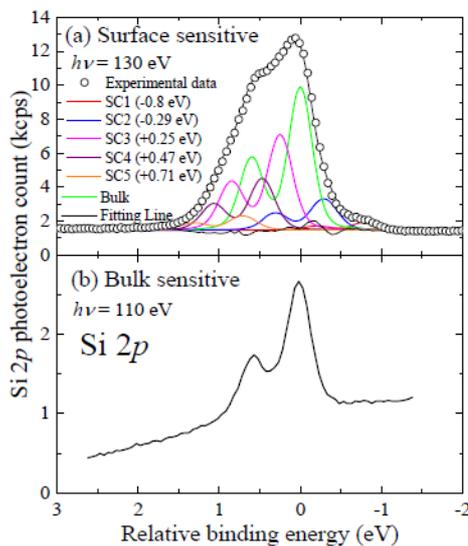


Fig. 2 Si(110)-16×2 SD 清浄表面の Si 2*p* 光電子スペクトル。

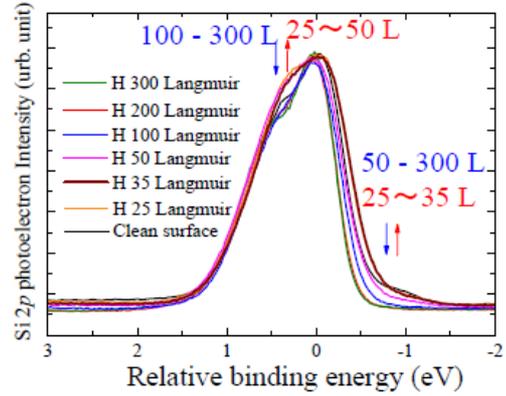


Fig. 3 Si(110)-16×2 SD 清浄表面に水素原子を曝露したときの Si 2*p* 光電子スペクトルの変化。

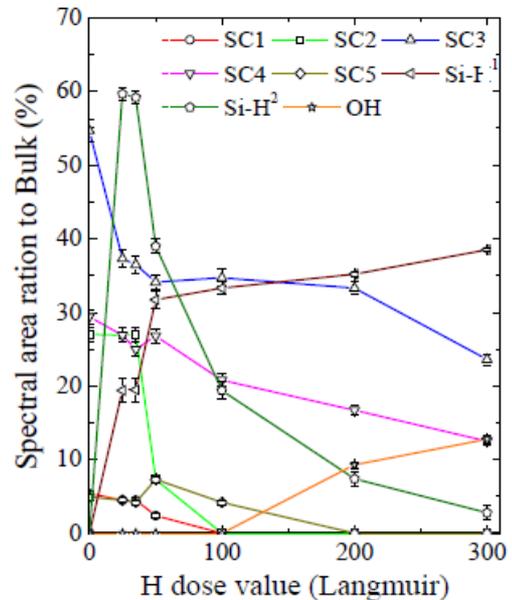


Fig. 4 Si(110)-16×2 SD 清浄表面に曝露した水素原子の量に対する各表面サイトの強度変化。

で固定した[2]。このような Si(110)-16×2 SD 清浄表面に水素原子および Hf 蒸気を曝露した。

Si(110)-16×2 清浄表面の水素化

Fig.3 は、Si(110)-16×2 SD 清浄表面に水素原子を曝露していった時の Si 2*p* PES である。Fig. 2 同様に、横軸はバルク成分の Si 2*p*_{3/2} ピークを 0 eV とした *ReBE* スケールである。これら全てのスペクトルは、Fig. 2 同様に Voigt 関数を用いてフィットし、各 SC1-5 および水素吸着によって新規に現れたピークの強度変化を水素原子の曝露量に対してプロットした図が Fig. 4 である。水素原子は AB モデルの SD のサイドエッジ付近に位置する SC1-SC3 に優先的に吸着し、SD を構成する SC4 サイトには吸着しづらいことが分かった。水素原子曝露後の Si(110)表面が SD

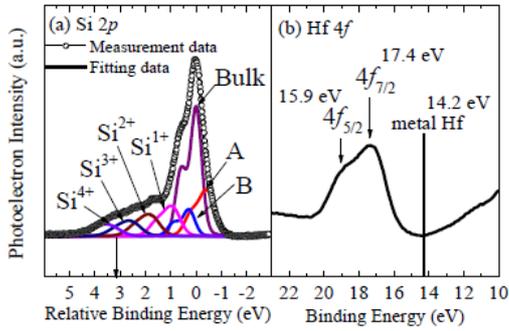


Fig. 5 HfO₂/SiO_x/Si(110)の(a) Si 2p 内殻 光電子スペクトルと(b) Hf 4f 内殻光電子スペクトル。

構造を保持するのは、SDを構成するSC4サイトへ水素原子が吸着しづらいためだということが分かった。

Si(110)-16×2 清浄表面への Hf の蒸着と酸素ガス曝露による酸化

Fig.5 は、Si(110)-16×2 清浄表面に Hf 蒸気を曝露し、さらに酸素ガスを曝露した後に得られた Si 2p 内殻光電子スペクトルと Hf 4f 内殻光電子スペクトルである。Si 2p 内殻光電子スペクトルの横軸は、バルク成分の Si 2p_{3/2} ピークを 0 eV とした *ReBE* スケールである。Fig. 2 同様に、Voigt 関数を用いて成分分離を行った結果、Si 2p 内殻光電子スペクトルにも酸化に由来する Si^{1+, 2+, 3+, 4+} のピーク成分が現れたことから、Hf/Si(110)界面に存在する Si は、酸化状態にあることが分かる。ここで、Si の価数は、Si に結合した酸素の数を示す。一方で、Hf 4f 内殻光電子スペクトルの横軸は、結合エネルギーの絶対値である。測定で得られた Hf 4f 光電子ピークは、金属 Hf の同ピークよりも 3.2 eV 高結合エネルギー側に現れていることから Hf が酸化した HfO₂ であることが分かる。以上より、本試料は HfO₂/SiO_x/Si(110)であることが分かる。また、HfO₂/SiO_x/Si(110)の LEED 像を観測したところ、明瞭なスポットを観測できなかったことから、Si(110)基板の 16×2 SD 表面超構造は消失したことが分かる。Fig. 6 は、Si(110)-16×2 SD 清浄表面に Hf 蒸気を曝露し、700 でアニール処理を行い、酸素ガスを曝露した後に得られた Si 2p 内殻光電子スペクトルと Hf 4f 内殻光電子スペクトルである。Si 2p 内殻光電子スペクトルの横軸は、バルク成分の Si 2p_{3/2} ピークを 0 eV とした *ReBE* スケールである。Fig. 5 同様に Voigt 関数によって Si 2p 光電子スペクトルの成分分離を行った結果、酸化に由来する Si^{1+, 2+, 3+, 4+} のピーク成分が現れた。一方、Hf 4f 内殻光電子スペクトルの横軸は、結合エネルギーの絶対値である。700 のアニールでは、試料表面上の酸素原子のみが脱離し、Hf 原子は脱離しない。測定で得られた Hf 4f 光電子ピークは、金属 Hf の同ピークよりも 0.5 eV

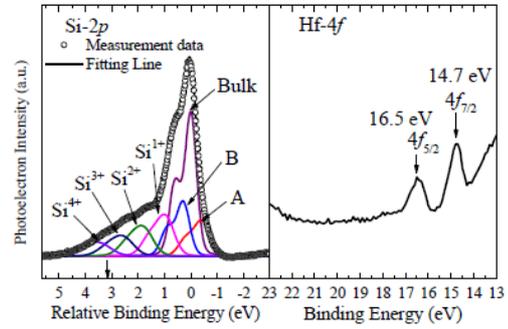


Fig. 6 Hf/SiO_x/Si(110)の(a) Si 2p 内殻 光電子スペクトルと(b) Hf 4f 内殻光電子スペクトル。

低結合エネルギー側に現れていることから Hf と Si が結合したシリサイドを形成していることが分かる。また、Hf シリサイドは、全く酸化をしないことが分かった。

以上より、アニール処理によって生じた Hf シリサイドはアイランドとなり、その間から露出した S 基板表面が酸化したと考えられる。また、本試料の LEED 像は、Si(110)-16×2 の Double Domain 構造のスポットが [1̄12] および [1̄1̄2] 方向に伸びた線上の回折を示したことから Hf シリサイドがアイランドを形成していることを強く示唆している。

HfO₂/SiO_x/Si(110)および Hf/SiO_x/Si(110)超薄膜試料の SiO_x 界面を選別した局所価電子状態の研究

我々は、界面組成が同じであるが表面 Hf の化学状態と構造の異なる HfO₂/SiO_x/Si(110) 超薄膜試料と Hf/SiO_x/Si(110)超薄膜試料を作製することができた。そこで、オージェ電子光電子コインシデンス分光法 (Auger-photoelectron coincidence spectroscopy: APECS) によって、界面でそれぞれ同じ化学状態を示す SiO_x (Siⁿ⁺, n=2, 3, 4) を選別した Si L₂₃VV オージェ電子スペクトル (Si-L₂₃VV-Siⁿ⁺-2p APECS) を測定した。このようにして測定した Si-L₂₃VV-Siⁿ⁺-2p APECS は、トリガーシグナルに用いた特定原子近傍の価電子状態を強く反映している。Fig. 5 および 6 中で結合エネルギーが +3.16 eV の x 軸上に示した矢印は、Si-L₂₃VV-Siⁿ⁺-2p APECS の測定でトリガーシグナルに用いた Si 2p 光電子成分の位置である。Voigt 関数を用いたフィッティング結果によると、トリガー位置における Siⁿ⁺成分の割合は、両試料ともに表 1 の通り界面組成は

表 1 . HfO₂/SiO_x/Si(110) および Hf/SiO_x/Si(110)超薄膜試料の *ReBE* = +3.16 eV での各成分の割合。

成分	Si ²⁺	Si ³⁺	Si ⁴⁺
割合 (%)	7	54	40

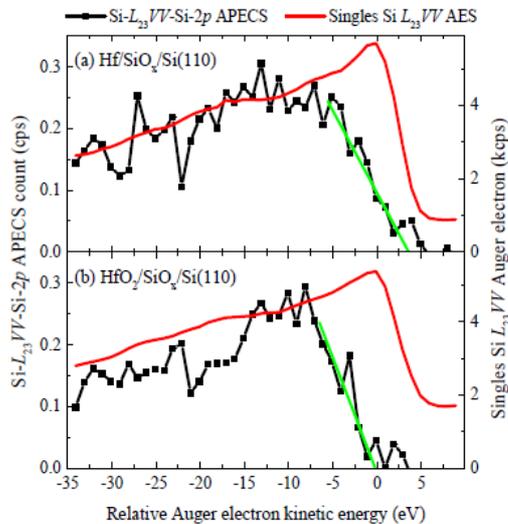


Fig. 7 HfO₂/SiO_x/Si(110) および Hf/SiO_x/Si(110)超薄膜試料の SiO_x 界面を選別して測定した Si-L₂₃VV-Si⁺⁺-2p APECS.

同じであった。

Fig.7 は、HfO₂/SiO_x/Si(110) および Hf/SiO_x/Si(110)超薄膜試料の SiO_x 界面を選別した Si-L₂₃VV-Si⁺⁺-2p APECS である。同図に示した赤の実線は、両試料の通常の Si L₂₃VV オージェ電子スペクトル (AES) である。Fig. 7 の横軸は、通常の Si L₂₃VV AES (赤実線) のメインピークを 0 eV とした相対的運動エネルギー (REAEKE) 表記である。各試料の Si-L₂₃VV-Si⁺⁺-2p APECS と Si L₂₃VV AES を比較すると、前者のメインピークの方が後者よりも約 10 eV 程度低 REAEKE 側に現れていることが分かる。オージェ電子は、もともと占有していた価電子準位の結合エネルギー (BE) が大きい準位から放出されるほど低 REAEKE 側にピークが現れることが知られている。以上のことから、Si-L₂₃VV-Si⁺⁺-2p APECS は、酸化によってエネルギー準位が高 BE 側にシフトした SiO_x 界面からのみ放出された Si L₂₃VV AES であるのに対し、通常の Si L₂₃VV AES は、それに加えて Si(110)基板からの放出されたオージェ電子成分も含んだスペクトルであることが分かる。両 Si-L₂₃VV-Si⁺⁺-2p APECS を比較することで、表面 Hf の状態によって界面 SiO₂ の電子状態がどのように変化するかを考察することができる。両試料の Si-L₂₃VV-Si⁺⁺-2p APECS 同士を比較して、REAEKE = -10 eV 付近に現れた Hf/SiO_x/Si(110)超薄膜試料のメインピークは、HfO₂/SiO_x/Si(110)超薄膜試料のそれよりもピーク幅が広いことが分かる。オージェ電子スペクトルのピーク幅が広いことは、オージェ電子が元々分布していた価電子帯が広く分布していることを示唆している。本結果によると、Hf/SiO_x/Si(110)超薄膜の価電子帯のほうが、HfO₂/SiO_x/Si(110)超薄膜のそれよりも広く分布していることを示している。特に、我々は、両 Si-L₂₃VV-Si⁺⁺-2p APECS の最も高運動エネルギー側のカットオフにかけての

スペクトル強度に注目した。Hf/SiO_x/Si(110)超薄膜のカットオフ構造のほうが、HfO₂/SiO_x/Si(110)超薄膜のそれよりも高 REAEKE 側まで広く分布している。ここで、Si-L₂₃VV-Si⁺⁺-2p APECS 強度が 0 となるカットオフの運動エネルギー (REAEKE_{cutoff}) を、Si-L₂₃VV-Si⁺⁺-2p APECS の強度が 8 割から 2 割まで減衰する領域を線形フィットして得られる直線と x 軸との交点と定義した。このようにして得られた Hf/SiO_x/Si(110)超薄膜および HfO₂/SiO_x/Si(110)超薄膜の AeKE_{cutoff} の値は、それぞれ +3.6 ± 1.6 および -0.2 ± 1.3 eV であった。一般的に、Core-Valence-Valence (CVV) オージェ電子の運動エネルギーは、

$$AeKE = BE_{core} - BE_{val} - BE_{val} - H + R - \phi$$

で表される。ここで、BE_{core}、BE_{val}、H、R、および ϕ は、内殻準位の結合エネルギー、価電子帯の結合エネルギー、正孔間相互作用、緩和エネルギー、およびアナライザーの仕事関数である。ここで、Si-L₂₃VV-Si⁺⁺-2p APECS において、両試料のトリガーシグナルに用いた BE_{core} は ReBE = +3.16 eV と同じであることを踏まえ、各 Si-L₂₃VV-Si⁺⁺-2p APECS の AeKE_{cutoff} を持つオージェ電子は価電子帯上端に分布する BE_{val} (BE_{val}^{VBM}) から放出されたと仮定すると、

$$\frac{BE_{val}^{VBM}(Hf/SiO_x/Si(110)) - BE_{val}^{VBM}(HfO_2/SiO_x/Si(110))}{\frac{1}{2}(REAEKE_{cutoff}^{Hf/SiO_x/Si(110)} - REAEKE_{cutoff}^{HfO_2/SiO_x/Si(110)})} =$$

で表すことができる。この関係式により、Hf/SiO_x/Si(110)超薄膜の価電子帯上端の結合エネルギー (BE_{val}^{VBM}) が、HfO₂/SiO_x/Si(110)超薄膜のそれよりも 1.9 ± 1.2 eV 低 BE 側にシフトしていることが分かった。これは、SiO_x 近傍に局在している Hf の構造および価電子状態が影響を及ぼしているものと考えられる。

以上より、HfO₂ をゲート絶縁材料に用いた MOS-FET を原子スケールで開発し、その安定動作を保証するためには、表面の Hf 構造を均一に制御して作製し、表面だけでなく界面の局所電子状態も制御する必要があることが分かった。

総括

Si(110)-16×2 SD 清浄表面を作製し、それを水素化のよって不活性化することに成功し、その吸着過程を明らかにすることができた。また、Si(110)-16×2 SD 清浄表面に Hf を蒸着し、酸化およびアニール処理を施すことによって HfO₂/SiO_x/Si(110)超薄膜および Hf/SiO_x/Si(110)超薄膜を作製することができた。しかし、LEED 像観測によると、前者の表面構造はアモルファスであり、後者は Si(110)基板が露出した DD 構造を示し、SD 構造を保持していなかった。

これらの試料の界面層を選別した局所価電子状態を観測したところ、Hf/SiO_x/Si(110)超薄膜の価電子帯上端の結合エネルギー ($BE_{\text{val}}^{\text{VBM}}$) が、HfO₂/SiO_x/Si(110)超薄膜のそれよりも 1.9 ± 1.2 eV 低 BE 側にシフトしていることが分かった。今後は、H/Si(110)に Hf を蒸着、酸化させることで、Si(110)基板のSDを保持したHfO₂超薄膜を作製することができるかを検討する必要がある。

<引用文献>

- [1] Y. Yamada *et al.*, Phys. Rev. B **77**, 153305 (2008).
- [2] K. Sakamoto *et al.*, Phys. Rev. B **79**, 045304 (2009).
- [3] J.-H. Lee *et al.*, Phys. Rev. B **66**, 233309 (2002).
- [4] K. Mase *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **83**, 094704 (2014).

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 0 件)

[学会発表](計 10 件)

垣内拓大、池田恭平、長岡伸一、間瀬一彦、“Si(110)-16×2 シングルドメイン表面上に作製した Hf および HfO₂ 超薄膜の界面を選別した局所価電子状態”、2015 年度 量子ビームサイエンスフェスタ(第 33 回 PF シンポジウム)、つくば国際会議場(茨城県・つくば市)。

垣内拓大、池田恭平、長岡伸一、間瀬一彦、“Si(110)-16×2 シングルドメイン表面上に作製した SiO₂ 超薄膜の膜厚に依存した表面局所価電子状態の変化”、2015 年度 量子ビームサイエンスフェスタ(第 33 回 PF シンポジウム)、つくば国際会議場(茨城県・つくば市)。

垣内拓大、桂木拓磨、中納佑二、長岡伸一、間瀬一彦、“低速電子回折と電子分光法による Hf 蒸着 Si(110)-16×2 シングルドメイン表面の研究”、第 35 回表面科学学術講演会、つくば国際会議場(茨城県・つくば市)。

垣内拓大、中納佑二、長岡伸一、間瀬一彦、“X 線光電子分光、光電子 - オージェ電子コインシデンス分光による水素吸着 Si(110)-16×2 シングルドメイン表面の研究”、第 35 回表面科学学術講演会、つくば国際会議場(茨城県・つくば市)。

T. Kakiuchi, T. Katsuragi, Y. Nakano, S. Nagaoka, and K. Mase, “Hafnium adsorption to clean Si(110)-16×2 single domain surface studied with photoelectron spectroscopy”, International Conference on Electron Spectroscopy and Structure: ICES-2015, New York (USA).

T. Kakiuchi, Y. Nakano, S. Nagaoka, and K.

Mase, “Hydrogen Adsorption on Clean Si(110)-16×2 single domain surface and its chemical states”, International Conference on Electron Spectroscopy and Structure: ICES-2015, New York (USA).

垣内拓大、中納佑二、長岡伸一、間瀬一彦、“Si(110)-16×2 シングルドメイン清浄表面への水素吸着過程とその表面物性”、第 3 回物構研サイエンスフェスタ(第 32 回 PF シンポジウム)、つくば国際会議場(茨城県・つくば市)。

T. Kakiuchi, S. Nishiura, J. Kawamoto, and K. Mase, “Surface Structure and Local Valence Electronic states of Si(110)-16×2 surface after expose to water: XPS and Auger-photoelectron coincidence study”, Pacific Rim Symposium on Surface, Coatings & Interfaces 2014, Hawaii (USA).

垣内拓大、西浦伸吾、川本淳慈、長岡伸一、間瀬一彦、“水の解離吸着による Si(110)-16×2 清浄表面の表面構造と局所価電子状態の変化”第 34 回表面科学学術講演会、くにびきメッセ(島根県・松江市)。

垣内拓大、西浦伸吾、川本淳慈、長岡伸一、間瀬一彦、“Si(110)-16×2 清浄表面への H₂O 解離吸着:表面物性と表面 1 次元構造の変化”第 8 回分子科学討論会 2014、広島大学(広島県・東広島市)。

[図書](計 0 件)

[産業財産権]

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

[その他]

ホームページ等

<http://chem.sci.ehime-u.ac.jp/~struct1/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

垣内 拓大(KAKIUCHI, Takuhiro)

研究者番号: 00508757

愛媛大学大学院・理工学研究科環境機能科学専攻・特任講師

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし