

令和 6 年 6 月 4 日現在

機関番号：82110

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K05338

研究課題名（和文）超音速分子線と放射光リアルタイム光電子分光によるシリコン表面酸化反応の理解と制御

研究課題名（英文）Understanding and control of silicon surface oxidation by supersonic molecular beams and synchrotron radiation real-time photoelectron spectroscopy

研究代表者

吉越 章隆 (Yoshigoe, Akitaka)

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・原子力科学研究部門 原子力科学研究所 物質科学研究センター・研究主幹

研究者番号：00283490

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：情報通信機器の基本素子である電界効果型トランジスタのシリコン(Si)酸化絶縁膜は原子数層になっていることから、本研究では、放射光光電子分光と超音速酸素分子線を使った原子レベルの酸化反応の理解と制御に取り組んだ。酸化速度や酸化価数の温度、圧力、不純物(n,p)依存性や表面吸着状態および界面歪と電子状態の関係、放出Si原子と生成する欠陥が反応サイトとしてどのように機能するのかを調べた。また、分子状吸着酸素を並進エネルギーで制御し欠陥サイトにおける反応を調べた。開発した実験手法を他の反応系へ応用し、それぞれの差異を通じて酸化反応の理解を深めた。効率的な酸化膜形成に必要なプロセス条件の探索を進めた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

スマートフォンなどの情報通信機器は社会基盤の一つとなり、今後、IoTやAIを活用したSociety5.0社会の実現には、さらなる小型、高性能かつ省電力動作可能な半導体デバイスが必須となる。電界効果型トランジスタは演算処理や記録を担う基本素子として重要であり、その中ではシリコン酸化絶縁膜が使われている。微細化が進みその膜厚は原子数層になっており、さらなる高性能化には原子レベルの酸化反応の理解と制御が必須である。本研究は、放射光表面分析を使ってシリコン表面の酸化反応メカニズムの解明を目指した。半導体産業の重要性がアフターコロナ以降に露わとなったが、本研究は半導体基礎研究としての貢献も期待できる。

研究成果の概要（英文）：The precise control and understanding of silicon (Si) oxidation are crucial for the advancement of Si-based field-effect transistors, which serve as fundamental components in information and communication technologies. This study employed synchrotron radiation photoelectron spectroscopy and supersonic oxygen molecular beams to clarify oxidation mechanisms at atomic levels. By investigating oxidation rates, valence states, surface adsorption states, interfacial strain, and electronic states under varying conditions of temperature, pressure, and doping (n/p), we elucidated the roles of released Si atoms and defects generated via oxidation as reaction sites. The reactions at defect sites where molecularly adsorbed oxygen is present were clarified. Our methodologies were applied to other reaction systems to obtain a deeper understanding of Si oxidation. Additionally, we explored process conditions for the efficient oxide film formation, to contribute to the optimization of FET performance.

研究分野：材料プロセス

キーワード：シリコン 表面酸化 酸素 吸着反応 その場観察 放射光 光電子分光 表面反応ダイナミクス

1. 研究開始当初の背景

固体表面の化学反応を理解し制御することによって材料表面を機能化することは、物質材料科学の重要な研究課題の一つである。スマートフォンのような身近な情報通信端末からスーパーコンピュータまでシリコン (Si) をベース材料とする電界効果トランジスタ (MOS-FET) が超集積回路の基本素子を構成し、演算処理や記録などを担っている。MOS-FET の中で Si 酸化絶縁膜は重要な材料であり、トランジスタの小型、高性能および高機能化が進むにつれて、その酸化膜厚は原子数層 (~1 nm) になっている。デバイス性能や信頼性の向上とともに省電力化などを実現するために、高品質 (低欠陥) な極薄酸化膜が必要となっており、Si 表面の酸化膜形成過程の原子レベルの理解および制御が求められている。ここで、High-k などの代替材料を利用する場合でも、極薄酸化層は Si 表面との界面に存在するため、Si 酸化の重要性は変わらない []。このような Si 表面酸化反応の重要性にもかかわらず、特に 1990 年代後半以降の半導体製造の国外への移行とともに、国内におけるその基礎研究への取り組みは極めて少なくなり、理解は十分に進んでいる状況になかった。

気体の酸素分子 $O_2(gas)$ による Si 単結晶表面の酸化は、 $Si+O_2 \rightarrow SiO_2$ と単純な化学反応式で書けるが、この反応の理解には、表面に衝突する $O_2(gas)$ の並進エネルギー、分子軸方向およびフラックス、表面温度や面方位、酸素吸着量や酸化物の化学状態および表面電子状態などに関する情報を知る必要がある (図 1)。 $O_2(gas)$ が表面に接近すると表面との間に相互作用が起き、物理吸着状態 [$O_2(phys)$] や化学吸着状態 [$O_2(chem)$] を経由しながら O_2 の分子内結合の切断が起き、Si-O 結合を持つ解離吸着状態 [$O(chem)$] になる。酸化膜の形成は、この解離吸着状態に至る一連の状態間の移行過程 (ダイナミクス) と言える。 $O_2(phys)$ あるいは $O_2(chem)$ は、酸化物を形成する前段階 (解離前駆状態) と言えるので、その形成に適切な条件を見つけることができれば、酸化物の効率的な作成を実現できる可能性がある。従って、解離前駆状態の形成や解離吸着状態への移行を促進する反応メカニズムを知ることが重要となる。

並進エネルギーは $O_2(gas)$ の吸着確率や生成物に影響を与えるので []、効率的な解離前駆状態の形成あるいは解離前駆状態を経由しない直接解離吸着状態の形成といった反応素過程の制御に利用できることが期待できる。Si 表面酸化に関しては、Si(111)7×7 に対して分子状吸着酸素が光電子分光などの表面分析によって観察できることから広く研究されてきた []。我々は、Si(001)2×1 表面酸化においても、放射光光電子分光によって Si(111)7×7 と同様の分子状吸着酸素と思われるピークを観察することに成功したので []、この分子状吸着酸素の酸化反応における役割を詳細な実験から系統的に明らかにできる状況が整っていた []。

2. 研究の目的

本研究では、 $O_2(gas)$ による Si 単結晶表面のドライ酸化に関して、分子状吸着酸素の解離前駆状態としての役割を放射光リアルタイム光電子分光などの最先端の表面分析を使って明らかにする。特に、 $O_2(gas)$ の並進エネルギーに注目し、並進エネルギーによって吸着状態や反応パスを変えることで、分子状吸着状態の役割や効率的な酸化膜形成に必要な反応条件の探索を進めた。酸化温度、圧力、Si 基板の不純物 (p/n) の違いや放射光照射の有無が、吸着種、酸化物や酸化膜の生成速度に及ぼす影響を通して、生成 Si 原子や欠陥サイトと化学状態、電子状態の関係を調べた。また、開発した実験技術を他の反応系に応用するとともに、その差異から Si 酸化反応の理解を深めた。本研究は、Si 酸化反応に内在する表面化学反応の学理構築を通して、半導

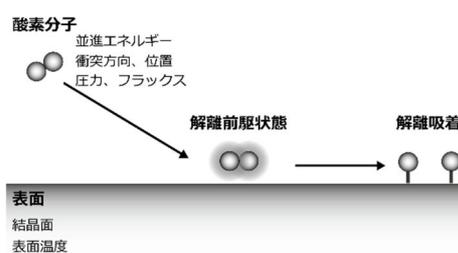


図 1: Si 表面の酸素分子 $O_2(gas)$ の吸着酸化反応の概念図。

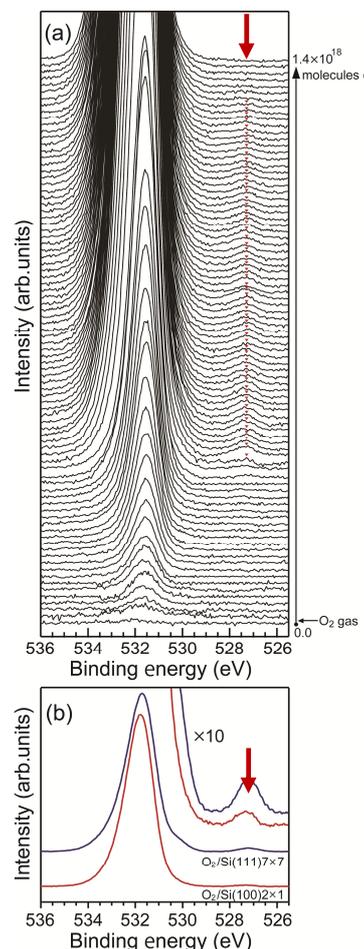


図 2: Si(100)2×1 表面室温酸化の放射光リアルタイム O1s 光電子スペクトル。(a) 時系列スペクトル、(b) 分子状吸着状態 (図中↓) の観察例. (Jpn. J. Appl. Phys. 55, 100307 (2016).)

体イノベーションの創出へ貢献することを目指した。

3. 研究の方法

実験は、大型放射光施設 (SPring-8) の日本原子力研究開発機構 (JAEA) の軟 X 線ビームライン (BL23SU) に設置した表面化学実験ステーションを使って行った[図 3: Jpn. J. Appl. Phys. **38**, 642 (1999).]. 本装置は、400 ~ 1500 eV の軟 X 線放射光のビームラインに常設されている、ベース圧力 2×10^{-8} Pa の超高真空装置である。Si 基板を最大 1150°C 程度まで Ta ヒーターを使った傍熱加熱が可能であることから、酸化前の Si(111)7×7、Si(001)2×1 清浄表面の作成が可能である。最大 $\sim 10^{-3}$ Pa の酸素ガスを精密に導入しながら、リアルタイム光電子分光観察が可能となっている[]。本装置は、加熱可能なノズルを使った分子線発生装置を有し、 $O_2(\text{gas})$ であれば並進エネルギーを 2.3eV 程度まで制御できる。

放射光のエネルギーは 700 eV を用いた。また、試料は Sb-doped n-Si(001) および B-doped p-Si(001) 基板を用いた。それぞれの不純物濃度は ($N_D =$) $2.24 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ および ($N_A =$) $4.69 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ である。 O_2 ガス曝露あるいは 0.06 eV の O_2 分子線によって Si 試料が酸化する過程について、O 1s と Si 2p 光電子スペクトルを交互に測定した。O 1s エネルギー損失スペクトルと価電子帯光電子スペクトルを酸化反応のリアルタイム計測終了後に測定した。

Si 2p 光電子スペクトルはスピン軌道相互作用分裂による Si 2p_{1/2} 成分を除去し、Si 2p_{3/2} 成分のみとした。その後、Shirley 法を用いてバックグラウンドを除去した Si 2p_{3/2} 光電子スペクトルを 10 成分でピーク分離した (図 4): S (up-dimer Si)、SS (down-dimer Si)、S' (第 2 層の歪み Si)、Si^B (Si 基板の Si)、Si^a (圧縮歪みをもつ Si)、Si^B (引っ張り歪みをもつ Si)、Si¹⁺ (1 個の O と結合した Si)、Si²⁺ (2 個の O と結合した Si)、Si³⁺ (3 個の O と結合した Si)、Si⁴⁺ (4 個の O と結合した Si)。簡単化のために S' と Si^B の化学シフトは同じとした。それぞれの光電子強度を Si^B のもので規格化して I_S 、 I_{SS} 、 I_{Si^a} 、 I_{Si^B} 、 $I_{Si^{1+}}$ 、 $I_{Si^{2+}}$ 、 $I_{Si^{3+}}$ 、 $I_{Si^{4+}}$ を求めた。強度比 $(I_{Si^{1+}} + I_{Si^{2+}} + I_{Si^{3+}} + I_{Si^{4+}}) / (I_S + I_{SS} + I_{Si^a} + I_{Si^B})$ から膜厚 X_O を評価し、微分して膜成長速度 dX_O/dt を求めた。Si^B ピークの運動エネルギー (E_k) の変化がバンド曲がりの変化 ΔBB に対応している。

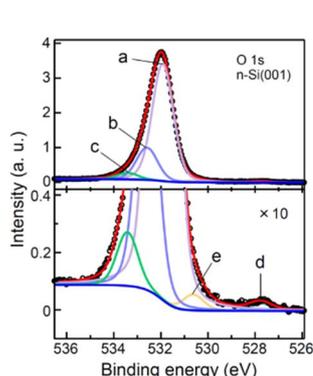


図 5: n-Si(001) 酸化表面における O 1s XPS スペクトルのピーク分離と (i-v) 表面酸化領域における酸素吸着モデルおよび (i-v) 表面酸化領域における酸素吸着モデル。

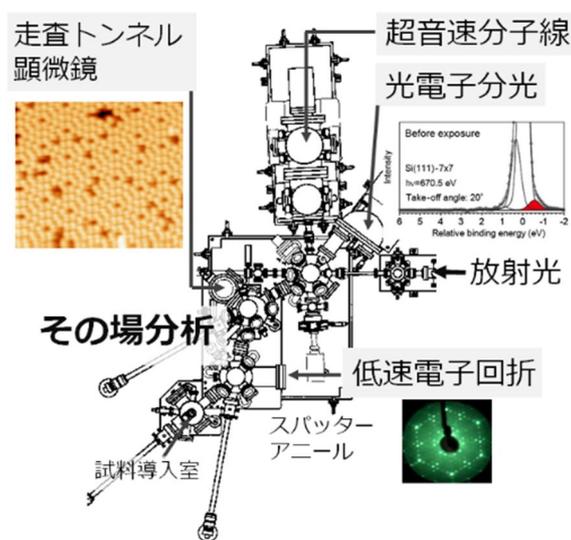


図 3: SPring-8 の軟 X 線ビームライン (BL23SU) の表面化学実験ステーション。

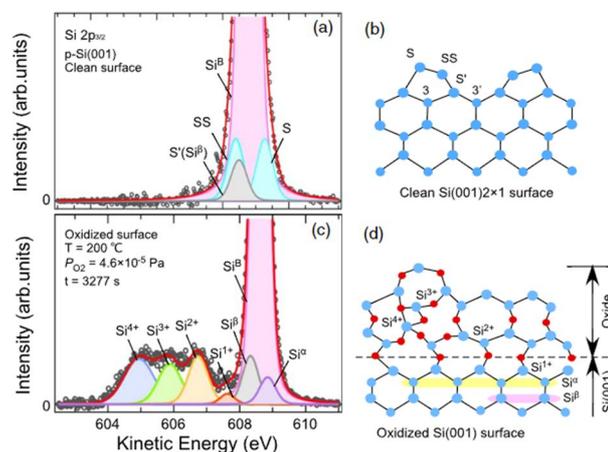


図 4: (a) p-Si(001) 2×1 清浄表面および (b) 酸化表面における Si 2p 光電子スペクトルのピーク分離。 (c) 清浄表面および (d) 酸化表面の構造モデル []。

運動エネルギー (E_k) の変化がバンド曲がりの変化 ΔBB に対応している。

O 1s 光電子スペクトルは Active Shirley 法を用いてバックグラウンドと 5 つのピーク成分でピーク分離を一緒に行った []。成分 a, b, c はそれぞれ酸素吸着配置 *ins*、*tri*、*ad* に対応する (図 5)。成分 d, e は表面酸化領域では (v) *ins-paul* に帰属された分子状吸着酸素 $O_2(\text{chem})$ に対応し、界面酸化領域では (viii) $P_{b1}\text{-paul}$ に帰属された $O_2(\text{chem})$ に対応する。

4. 研究成果

(1) Si ドライ酸化における SiO₂/Si 界面での過剰少数キャリア再結合の役割[]

Si ドライ酸化における SiO₂/Si 界面での O₂ 反応では、酸化により界面に生じた点欠陥 (V⁰) が支配的な役割を担っていることを本研究以前に明らかにした[]。この統合 Si 酸化反応モデルでは点欠陥 (V⁰) がキャリア捕獲により化学的に活性 (V⁺ または V⁻) となった後、酸化膜中を拡散してきた O₂ が捕獲され酸化が進行する。一方、このモデルで仮定したキャリア捕獲については、光照射 (可視光、紫外線、X 線) ならびに Si 基板のドーパント濃度の増加による SiO₂ 成長の促進などから示唆されるものの、実験的に確かめられてはいなかった。本研究では、欠陥へのキャリア捕獲による ΔBB 変化を観察し、我々の提案する酸化モデルの妥当性を検証した。

図 6 (a) および(d)に示すように、リアルタイム測定中に時間間隔を変えながら放射光を OFF にし Si 2p スペクトルの変化を追跡した。Si 2p スペクトルのピーク強度比から、図 6(b)(e)のように膜厚変化を得られる。ここで、実験直後に、試料上の放射光を当てて測定していた点(SX-ON)からわずかに位置をずらした点(SX-OFF)で Si 2p スペクトルを取得し、膜厚を得たところ、膜厚は SX-ON > SX-OFF であった。図 6(c)(d)に示すように放射光 ON で観察される ΔBB の変化は緩やかであるため、放射光照射による酸化促進は光起電力効果によるものではないと考えられる。

SiO₂/n-Si(001)界面では放射光を OFF 中に ΔBB は増加しており、この傾向は OFF 時間が長くなるにつれ顕著になった。一方放射光 ON により ΔBB は緩やかに減少しているバンド曲がりの増大は、放射光 OFF の期間中に V⁻が増加したことを示唆している。このことは多数キャリアの増加 (V⁰ + e⁻ → V⁻) もしくは少数キャリアの減少 (V⁻ + h⁺ → V⁰) を意味している。

本実験後、O 1s エネルギー損失スペクトルに 3.5 eV からの立ち上がりが観察された。これは SiO₂(~0.5 nm)/Si 界面において Si 側から SiO₂ に染み出した電子状態における Γ 点近傍でのバンド間遷移に帰属される。これにより生じた電子-正孔対は多数キャリア (n-Si では電子) の役割への影響は少ないと考えられるが、少数キャリア (n-Si では正孔) の役割へ顕著な影響を及ぼすと考えられる。つまり、放射光 OFF により電子-正孔対が消滅し少数キャリアの寄与が激減するので、V⁻が増大して図 6 で観察されたようにバンド曲がりが大きくなると考えられる。

放射光照射の ON-OFF 実験から解明した多数キャリアと少数キャリアの役割を考慮して 2 つの反応ループ A/B に分岐する図 7 のようなモデルを提案した。以下では n-Si(001)について述べる。ループ A では多数キャリア捕獲により出現した V⁻に吸着した O₂(chem)(paul)は少数キャリア捕獲を経て SiO₂ 形成に至る。一方、図 7 の吸着配置の paul は短寿命であり、少数キャリア捕獲がなされない場合、容易に解離してバックボンドに潜りこみ図 7 に示した 2(P_{b0} + P_{b1})状態となる。バックボンドに Si-O 結合をもつ O₂(chem) (P_{b1}-paul)は長寿命であり、少数キャリア捕獲により解離が進行し 2SiO となる(ループ B)。以上から、O₂(chem)の寿命と少数キャリア捕獲時間の大小によりループ A はループ B に分岐する。

(2) Si ドライ酸化中の SiO₂/Si 界面における化学吸着酸素分子の観察[]

図 7 で提案した O₂ 反応モデルでは、界面においても O₂(chem)(P_{b1}-paul)が存在し、反応速度だけでなく、ループ A/B 分岐を支配する。本研究では trapping-mediated adsorption が支配的であるような 0.06 eV の O₂ 分子線を室温の n-Si(001)に照射し、O₂(chem)の変化を実験的に観察することにより、提案した Si 酸化反応モデルを速度論的に考察した。

図 8 に示した O 1s スペクトルの面積強度変化は、フィッティングにより、表面酸化領域 (A-

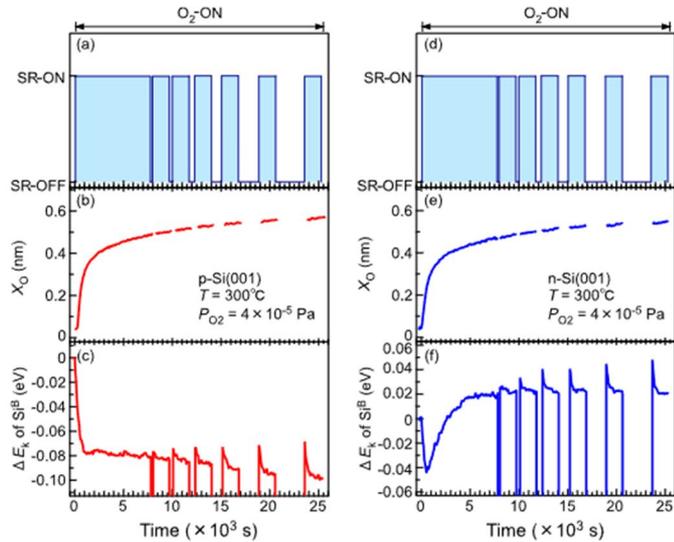


図 6: n-Si(001)および p-Si(001)表面酸化における(a)(d)放射光 ON-OFF 操作、X₀ の時間変化および ΔBB の時間変化

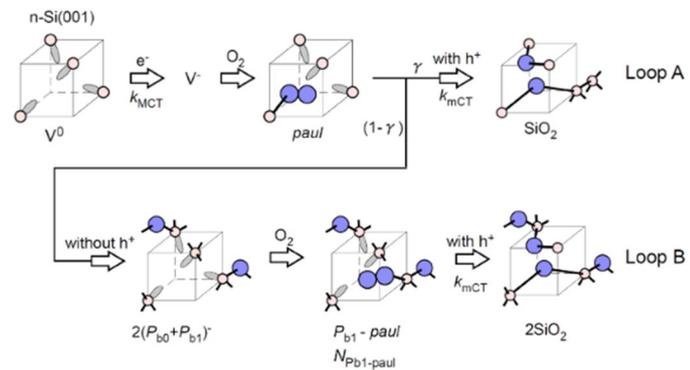


図 7: SiO₂/n-Si(001)界面酸化におけるループ A/B 分岐モデル

G) と界面酸化領域(G-M)に分けられる。表面酸化領域での O₂ 吸着過程は trapping-mediated adsorption モデルで記述できる。このモデルでは O₂(phys)を経て O₂(chem)となり、その解離により SiO₂が形成される。図 5 に示す *paul* は寿命が短く、すぐに *ins* となってしまう観測は難しいが、その *ins* に吸着した O₂(chem)である *ins-paul* は寿命が長いので XPS で観察可能である。

一方、界面反応領域においても O₂(chem)に相当する O 1s 成分(図 5 の d, e 成分)が観察された。これは、界面反応も trapping-mediated adsorption で進むことを示唆しており、図 7 のモデルを支持する。ここで、室温では界面酸化はループ B で進行することが dX_O/dt の時間発展解析から明らかとなった。図 7 のループ B では 2 回目の酸素吸着後に O₂(chem)として P_{b1-paul} が含まれる。これは表面酸化領域での *ins-paul* と同様に長寿命であると考えられる。図 5 の O 1s 光電子スペクトルのピーク分離解析にみられる、*paul* による成分 d と e は SiO₂/Si 界面の空孔に生じた P_{b1-paul} だけでなく、SiO₂膜表面に放出された Si 原子に吸着した *ins-paul* (SiO₂)に由来するとも考えられる(図 9(a))。そのため d, e 成分の強度 I_{e+d} は表面成分 I_{surface} (*ins-paul* (SiO₂)) だけでなく界面成分 I_{interface} (P_{b1-paul}) の和となり次式が得られる。

$$I_{d+e} \exp(X_0/\lambda \cos 30^\circ) = aN_{ins-paul(SiO_2)} \exp(X_0/\lambda \cos 30^\circ) + b \frac{dX_{interf}}{dt} \quad (1)$$

ここで *a*, *b* は定数、exp(-X₀/λ cos 30°)は界面からの光電子脱出過程における非弾性散乱による減衰を考慮するためのファクターである。exp(-X₀/λ cos 30°)I_{e+d} と dX_O/dt は非常に良い直線の相関を示す(図 9(b))。これは P_{b1-paul} 状態がループ B での界面酸化反応を律速していることを示している。切片は aN_{ins-paul(SiO₂)}exp(-X₀/λ cos 30°)に対応し、放出 Si 原子も O₂(chem)と関係するとした上記の仮定と矛盾しない。しかし、そのような放出 Si 原子に由来するサイトに吸着した O₂解離による歪みは、SiO₂ネットワークで緩和してしまい点欠陥発生をもたらすことはなく、ループ B の駆動力とはならない。

以上のように Si 表面および界面で起こる酸化反応のメカニズムの詳細を明らかにすることができた。また、開発した分析技術や知見を他の反応系に広く応用し、表面界面科学の学術的發展に努めた。

<引用文献>

奈良安雄、メタルゲート/高誘電率絶縁膜スタックの最前線、応用物理、第 76 巻、第 9 号、2007、1006。

A. Yoshigoe and Y. Teraoka, Adsorption dynamics on Si(111)-7×7 surface induced by supersonic O₂ beam studied using real-time photoelectron spectroscopy, J. Phys. Chem. **C114**, 2010, 22539.

A. Yoshigoe and Y. Teraoka, Synchrotron radiation photoelectron spectroscopy study on oxide evolution during oxidation of a Si(111)-7×7 surface at 300K: Comparison of thermal equilibrium gas and supersonic molecular beams for oxygen adsorption, **C118**, 2014, 9436.

吉越章隆、放射光リアルタイム光電子分光で観る半導体表面の酸素分子の吸着反応、放射光、Vol.32、No.4、2019、185。

A. Yoshigoe, Y. Yamada, R. Taga, S. Ogawa, and Y. Takakuwa, Jpn. J. Appl. Phys. **55**, 2016, 100307. 中村孝史、山本幸男、荒川正和、丸山晃生、吉越章隆、超高真空材料プロセス研究のためのガス精密制御の自動化—表面反応の放射光リアルタイム観察への応用—、産業応用工学会論文誌、Vol. 11、No. 2、2023、109。

S. Ogawa, A. Yoshigoe, J. Tang, Y. Sekihata, Y. Takakuwa, Roles of strain and carrier in silicon oxidation, Jpn. J. Appl. Phys. **59**, 2020, SM0801.

Y. Tsuda, A. Yoshigoe, S. Ogawa, T. Sakamoto, Y. Yamamoto, Y. Yamamoto, and Y. Takakuwa, Roles of excess minority carrier recombination and chemisorbed O₂ species at SiO₂/Si interfaces in Si dry oxidation: Comparison between p-Si(001) and n-Si(001) surfaces, J. Chem. Phys. **157**, 2022, 234705.

Y. Tsuda, A. Yoshigoe, S. Ogawa, T. Sakamoto, and Y. Takakuwa, e-J. Surf. Sci. nanotech. **21**, 2023, 30.

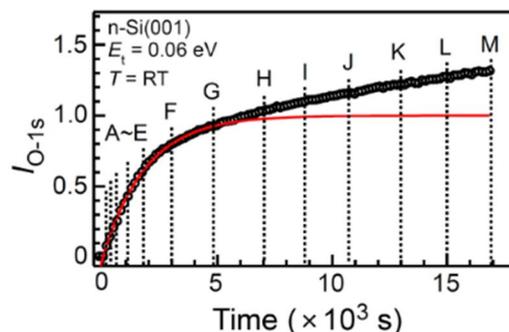


図 8: n-Si(001)酸化における O 1s スペクトル面積強度の時間変化

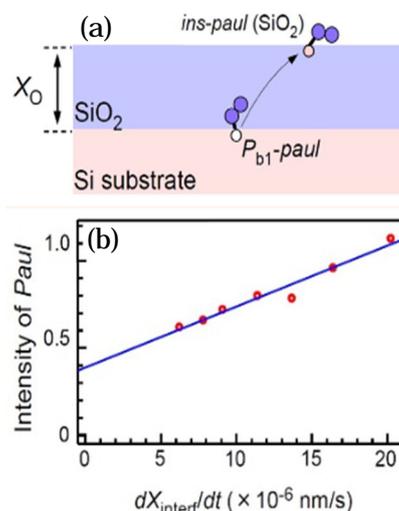


図 9: SiO₂/Si 界面での点欠陥発生モデルと、界面酸化領域における dX_O/dt と P_{b1-paul} との相関。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計26件（うち査読付論文 24件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Yasutaka Tsuda, Akitaka Yoshigoe, Shuichi Ogawa, Tetsuya Sakamoto and Yuji Takakuwa	4. 巻 21
2. 論文標題 bservation of chemisorbed O ₂ molecule at SiO ₂ /Si(001) interface during Si dry oxidation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 e-Journal of Surface Science and Nanotechnology	6. 最初と最後の頁 30-39
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1380/ejssnt.2023-005	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Yasutaka Tsuda, Akitaka Yoshigoe, Shuichi Ogawa, Tetsuya Sakamoto, Yoshiki Yamamoto, Yukio Yamamoto, Yuji Takakuwa	4. 巻 1257
2. 論文標題 Roles of excess minority carrier recombination and chemisorbed O ₂ species at SiO ₂ /Si interfaces in Si dry oxidation: Comparison between p-Si(001) and n-Si(001) surfaces	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Chemical Physics.	6. 最初と最後の頁 234705-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0109558	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Shuichi Ogawa, Yasutaka Tsuda, Tetsuya Sakamoto, Yuki Okigawa, Tomoaki Masuzawa, Akitaka Yoshigoe, Tadashi Abukawa, Takatoshi Yamada	4. 巻 605
2. 論文標題 Quantitative Evaluation of Doped Potassium Concentrations in Stacked Tow-Layer Graphene using X-Ray Photoelectron Spectroscopy	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Surface Science	6. 最初と最後の頁 154748-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apsusc.2022.154748	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Hidetoshi Mizobata, Kazuki Tomigahara, Mikito Nozaki, Takuma Kobayashi, Akitaka Yoshigoe, Takuji Hosoi, Takayoshi Shimura, and Heiji Watanabe	4. 巻 121
2. 論文標題 Electrical properties and energy band alignment of SiO ₂ /GaN metal-oxide-semiconductor structures fabricated on N-polar GaN(000-1) substrates	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 062104-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0095468	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takuji Hosoi, Momoe Ohsako, Kidist Moges, Koji Ito, Tsunenobu Kimoto, Mitsuru Sometani, Mitsuo Okamoto, Akitaka Yoshigoe, Takayoshi Shimura, Heiji Watanabe	4. 巻 15
2. 論文標題 Impact of post-nitridation annealing in CO2 ambient on threshold voltage stability in 4H-SiC metal-oxide-semiconductor field-effect transistors	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 061003-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/ac6f42	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takato Nakanuma, Takuma Kobayashi, Takuji Hosoi, Mitsuru Sometani, Mitsuo Okamoto, Akitaka Yoshigoe, Takayoshi Shimura, and Heiji Watanabe	4. 巻 15
2. 論文標題 Impact of nitridation on the reliability of 4H-SiC(11-20) MOS devices	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 041002-1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/ac5ace	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 勝部大樹, 大野真也, 稲見栄一, 吉越章隆, 阿部真之	4. 巻 65
2. 論文標題 超音速酸素分子線を用いたアナターゼ型TiO2(001)表面の酸素欠損の修復	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 表面と真空	6. 最初と最後の頁 526-530
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1380/vss.65.526	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 豊田智史, 吉村真史, 住田弘祐, 三根生晋, 町田雅武, 吉越章隆, 吉川彰, 鈴木哲, 横山和司	4. 巻 35
2. 論文標題 時空間分割角度分解AP-XPS法による多層積層薄膜界面の深さ方向解析	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 放射光	6. 最初と最後の頁 200-206
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 高桑雄二, 小川修一, 吉越 章隆	4. 巻 35
2. 論文標題 表面反応観察における大気圧光電子分光の現状, 利用研究と展望	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 放射光	6. 最初と最後の頁 158-171
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sumiya Masatomo, Sumita Masato, Tsuda Yasutaka, Sakamoto Tetsuya, Sang Liwen, Harada Yoshitomo, Yoshigoe Akitaka	4. 巻 23
2. 論文標題 High reactivity of H2O vapor on GaN surfaces	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Science and Technology of Advanced Materials	6. 最初と最後の頁 189 ~ 198
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/14686996.2022.2052180	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nakanuma Takato, Iwakata Yu, Watanabe Arisa, Hosoi Takuji, Kobayashi Takuma, Sometani Mitsuru, Okamoto Mitsuo, Yoshigoe Akitaka, Shimura Takayoshi, Watanabe Heiji	4. 巻 61
2. 論文標題 Comprehensive physical and electrical characterizations of NO nitrided SiO ₂ /4H-SiC(1120) interfaces	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SC1065 ~ SC1065
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac4685	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kakiuchi Takuhiro, Matoba Tomoki, Koyama Daisuke, Yamamoto Yuki, Yoshigoe Akitaka	4. 巻 38
2. 論文標題 Oxidation Mechanisms of Hafnium Overlayers Deposited on an Si(111) Substrate	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Langmuir	6. 最初と最後の頁 2642 ~ 2650
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.langmuir.1c02711	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tang Jiayi, Seo Okkyun, Rocabado David S. Rivera, Koitaya Takanori, Yamamoto Susumu, Nanba Yusuke, Song Chulho, Kim Jaemyung, Yoshigoe Akitaka, Koyama Michihisa, Dekura Shun, Kobayashi Hirokazu, Kitagawa Hiroshi, Sakata Osami, Matsuda Iwao, Yoshinobu Jun	4. 巻 587
2. 論文標題 Hydrogen absorption and diffusion behaviors in cube-shaped palladium nanoparticles revealed by ambient-pressure X-ray photoelectron spectroscopy	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Surface Science	6. 最初と最後の頁 152797 ~ 152797
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apsusc.2022.152797	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Katsube Daiki, Ohno Shinya, Takayanagi Shuhei, Ojima Shoki, Maeda Motoyasu, Origuchi Naoki, Ogawa Arata, Ikeda Natsuki, Aoyagi Yoshihide, Kabutoya Yuito, Kyungmin Kim, Linfeng Hou, Fengxuan Li, Tsuda Yasutaka, Yoshida Hikaru, Nishi Shizuka, Sakamoto Tetsuya, Inami Eiichi, Yoshigoe Akitaka, Abe Masayuki	4. 巻 37
2. 論文標題 Oxidation of Anatase TiO ₂ (001) Surface Using Supersonic Seeded Oxygen Molecular Beam	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Langmuir	6. 最初と最後の頁 12313 ~ 12317
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.langmuir.1c01752	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hayashida Koki, Tsuda Yasutaka, Yamada Takashi, Yoshigoe Akitaka, Okada Michio	4. 巻 6
2. 論文標題 Revisit of XPS Studies of Supersonic O ₂ Molecular Adsorption on Cu(111): Copper Oxides	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Omega	6. 最初と最後の頁 26814 ~ 26820
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsomega.1c04663	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 OGAWA Shuichi, ZHANG Bingruo, YOSHIGOE Akitaka, TAKAKUWA Yuji	4. 巻 64
2. 論文標題 Oxidation Reaction Kinetics on Transition Metal Surfaces Observed by Real-time Photoelectron Spectroscopy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Vacuum and Surface Science	6. 最初と最後の頁 218 ~ 223
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1380/vss.64.218	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Y. Tsuda, J. S. Gueriba, T. Makino, W. A. Dino, A. Yoshigoe, M. Okada	4. 巻 11
2. 論文標題 Interface atom mobility and charge transfer effects on CuO and Cu ₂ O formation on Cu ₃ Pd(111) and Cu ₃ Pt(111)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 3906
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-82180-w	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 S. Toyoda, T. Yamamoto, M. Yoshimura, H. Sumida, S. Mineoi, M. Machida, A. Yoshigoe, S. Suzuki, K. Yokoyama, Y. Ohashi, S. Kurosawa, K. Kamada, H. Sato, A. Yamaji, M. Yoshino, T. Hanada, Y. Yokota, A. Yoshikawa	4. 巻 64
2. 論文標題 Development of spatiotemporal measurement and analysis techniques in X-ray photoelectron spectroscopy -From NAP-HARPES to 4D-XPS-	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Vacuum and Surface Science	6. 最初と最後の頁 86 ~ 91
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1380/vss.64.86	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 T. Doi, A. Yoshigoe	4. 巻 52
2. 論文標題 Surface segregation effect for prevention of oxidation in Ni X (X=Sn, Sb) alloy by in situ photoelectron spectroscopy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Surface and Interface Analysis	6. 最初と最後の頁 1117 ~ 1121
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/sia.6802	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 M. Sumiya, M. Sumita, Y. Asai, R. Tamura, A. Uedono, A. Yoshigoe	4. 巻 124
2. 論文標題 Dynamic observation and theoretical analysis of initial O ₂ molecule adsorption on polar and m-plane surfaces of GaN	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 25282 ~ 25290
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.0c07151	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 T. Kakiuchi, T. Matoba, D. Koyama, Y. Yamamoto, D. Kato, A. Yoshigoe	4. 巻 701
2. 論文標題 Precise chemical state analyses of ultrathin hafnium films deposited on clean Si(111)-7×7 surface using high-resolution core-level photoelectron spectroscopy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Surface Science	6. 最初と最後の頁 121691 ~ 121691
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.susc.2020.121691	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 T. Tokunaga, K. Kuno, T. Kawakami, T. Yamamoto, A. Yoshigoe	4. 巻 45
2. 論文標題 H2 production from methane decomposition by fullerene at low temperature	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Hydrogen Energy	6. 最初と最後の頁 14347 ~ 14353
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijhydene.2020.03.178	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 S. Ogawa, H. Yamaguchi, E. F. Holby, T. Yamada, A. Yoshigoe, Y. Takakuwa	4. 巻 11
2. 論文標題 Gas barrier properties of chemical vapor-deposited graphene to oxygen imparted with sub-electronvolt kinetic energy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 9159 ~ 9164
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcllett.0c02112	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 M. Nozaki, D. Terashima, A. Yoshigoe, T. Hosoi, T. Shimura, H. Watanabe	4. 巻 59
2. 論文標題 Evaluation and mitigation of reactive ion etching-induced damage in AlGaIn/GaN MOS structures fabricated by low-power inductively coupled plasma	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SMMA07 ~ SMMA07
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ab8f0e	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 S. Ogawa, A. Yoshigoe, J. Tang, Y. Sekihata, Y. Takakuwa	4. 巻 59
2. 論文標題 Roles of strain and carrier in silicon oxidation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SM0801 ~ SM0801
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ab82a9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 A. Yoshigoe	4. 巻 59
2. 論文標題 Synchrotron radiation photoelectron spectroscopy study on oxides formed at Ge(100)2×1 surface in atmosphere	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SMMB05 ~ SMMB05
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ab8f0b	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計31件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 高楊木易, 新井太貴, 鈴木俊明, 吉越章隆, 丹羽雅昭, 本橋光也
2. 発表標題 基板の表面状態がSi マイクロ・ナノロールの形状に及ぼす影響
3. 学会等名 第70回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 勝部大樹, 大野真也, 金庚民, 津田泰孝, 稲見栄一, 吉越章隆, 阿部真之
2. 発表標題 アナターゼ型TiO ₂ (001)表面への超音速N ₂ 分子線の照射
3. 学会等名 第70回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 鷹林将, 福田旺土, 塚崎 琉太, 古賀永, 山口尚登, 小川修一, 高桑雄二, 津田泰孝, 吉越章隆
2. 発表標題 光電子制御プラズマ処理によるグラフェンの修飾
3. 学会等名 第70回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 鈴木亜沙人, 中沼貴澄, 小林拓真, 染谷満, 岡本光央, 吉越章隆, 志村考功, 渡部平司
2. 発表標題 NO窒化SiC(1-100) MOSデバイスのリーク伝導機構
3. 学会等名 先進パワー半導体分科会第9回講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大西健太郎, 小林拓真, 溝端秀聡, 野崎幹人, 吉越章隆, 志村考功, 渡部平司
2. 発表標題 酸素及び水素熱処理によるスパッタ成膜SiO ₂ /GaN MOS構造の界面特性及び絶縁性向上
3. 学会等名 先進パワー半導体分科会第9回講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 津田 泰孝, 吉越 章隆, 小川 修一, 坂本徹哉, 高桑雄二
2. 発表標題 分子状吸着O ₂ によるSiO ₂ /Si(001)界面酸化反応過程の分岐
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 垣内拓大, 穴井亮太, 佐伯大殊, 津田泰孝, 吉越章隆
2. 発表標題 超音速酸素分子線照射による非平衡ハフニウム吸着シリコン(111)表面界面での酸化反応
3. 学会等名 第16回分子科学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takuma Kobayashi, Takato Nakanuma, Asato Suzuki, Mitsuru Sometani, Mitsuo Okamoto, Akitaka Yoshigoe, Takayoshi Shimura, and Heiji Watanabe
2. 発表標題 Nitridation-induced degradation of SiC (1-100) MOS devices
3. 学会等名 19th International Conference on Silicon Carbide and Related Materials (ICSCRM2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takuma Kobayashi, Takato Nakanuma, Asato Suzuki, Mitsuru Sometani, Mitsuo Okamoto, Akitaka Yoshigoe, Takuji Hosoi, Takayoshi Shimura, and Heiji Watanabe
2. 発表標題 Reliability Issues in Nitrided SiC MOS Devices
3. 学会等名 ISCSI-IX
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 吉越章隆
2. 発表標題 放射光光電子分光を利用した固体表面反応のリアルタイム観察
3. 学会等名 第58回表面分析研究会(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 津田泰孝, 小川修一, 吉越章隆, 富永亜希, 坂本徹哉, 山本善貴, 山本幸男, 高桑雄二
2. 発表標題 SiO ₂ /Si(001)界面酸化におけるキャリア捕獲の実験的検証
3. 学会等名 2022年第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 勝部大樹, 大野真也, 高柳周平, 尾島章輝, 前田元康, 折口直紀, 小川新, 池田夏紀, 青柳良英, 甲谷唯人, Kim Kyunming, 侯林楓, 李豊, 津田泰孝, 吉田光, 西静佳, 坂本徹哉, 稲見栄一, 吉越章隆, 阿部真之
2. 発表標題 超音速分子線を照射したアナターゼ型TiO ₂ (001)表面のX線光電子分光による評価
3. 学会等名 2022年第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 角谷正友, 坂本徹哉, 津田泰孝, 隅田真人, 吉越章隆
2. 発表標題 超音速分子線を使ったGaN表面酸化と放射光光電子分光分析
3. 学会等名 2022年第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 豊田智史, 吉村真史, 住田弘祐, 三根生晋, 町田雅武, 吉越章隆, 吉川 彰, 鈴木哲, 横山和司
2. 発表標題 4D-XPS計測ビッグデータの順逆解析シミュレーション検証
3. 学会等名 電子デバイス界面テクノロジー研究会 材料・プロセス・デバイス特性の物理 (第27回研究会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yasutaka Tsuda, Shuichi Ogawa, Akitaka Yoshigoe, Tetsuya Sakamoto, Yuji Takakuwa
2. 発表標題 Comparison of the oxidation reaction kinetics between SiO ₂ /n- and p-Si(001) interfaces
3. 学会等名 The 9th International Symposium on Surface Science (ISSS-9)~Toward Sustainable Development~
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Akitaka Yoshigoe, Yasutaka Tsuda, Aki Tominaga, Tetsuya Sakamoto, Shuichi Ogawa, Yuji Takakuwa
2. 発表標題 Molecular beams study on satellite peak observed in O1s photoelectron spectra for Si(001)2×1 surface oxidation at room temperature
3. 学会等名 The 9th International Symposium on Surface Science (ISSS-9)~Toward Sustainable Development~
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 竹内走一郎, 古賀峻丞, 田中晶貴, 孫澤旭, 津田泰孝, 小川修一, 高桑雄二, 室隆桂之, 橋本由介, 吉越章隆, 松下智裕
2. 発表標題 光電子ホログラフィーを用いたSi(111)-7×7 表面の初期酸化構造解析
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 津田泰孝, 小川修一, 吉越章隆, 坂本徹哉, 高桑雄二
2. 発表標題 SiO ₂ /Si(001)界面のバンドベンディングへの酸素と放射光のON-OFF効果
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小川 修一, 山田 貴壽, 沖川 侑揮, 増澤 智昭, 津田 泰孝, 吉越 章隆, 虻川 匡司
2. 発表標題 動的 Shirley 法を用いた二層グラフェン中微量ドーパントのXPS 測定
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉越 章隆, 津田 泰孝, 富永 亜希, 坂本 徹哉, 小川 修一, 高桑 雄二
2. 発表標題 Si(001)2×1表面室温酸化に観られる01s光電子スペクトルのサテライトピークと酸素分子の並進運動エネルギーの関係
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 角谷正友, 津田泰孝, 坂本徹哉, 隅田真人, Sang Liwen, 原田善之, 富永亜希, 吉越 章隆
2. 発表標題 酸化ガス照射下でのXPSによるGaN表面化学状態の動的その場観察
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 垣内拓大, 的場友希, 小山大輔, 山本優貴, 吉越章隆
2. 発表標題 内殻光電子分光法によるHf/Si(111)超薄膜表面界面の酸化ダイナミクス
3. 学会等名 第15回分子科学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 津田泰孝, 坂本徹哉, 吉越章隆
2. 発表標題 放射光光電子分光によるGe(110)表面の室温酸化過程の研究
3. 学会等名 第15回分子科学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 津田泰孝, 坂本徹哉, 吉越章隆
2. 発表標題 放射光光電子分光を用いたGe(110)表面の酸素分子による室温酸化の研究
3. 学会等名 2021年第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 豊田智史、山本知樹、吉村真史、住田弘祐、三根生晋、町田雅武、吉越章隆、吉川彰、鈴木哲、横山和司
2. 発表標題 多層積層膜に埋もれた界面反応可視化のための4D-XPS 計測データ逆解析ソフトウェア開発
3. 学会等名 2021年第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 富ヶ原一樹, 和田悠平, 溝端秀聡, 野崎幹人, 吉越章隆, 細井卓治, 志村考功, 渡部平司
2. 発表標題 GaN(000-1)面上に形成したSiO ₂ /GaN MOSキャパシタの電気特性評価
3. 学会等名 2021年第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小川修一、山田貴壽、津田泰孝、吉越章隆、虻川匡司
2. 発表標題 ガスバリア特性評価のためのグラフェン用触媒金属膜の検討
3. 学会等名 日本表面科学会東北北海道支部 2020年度講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 豊田智史、山本知樹、吉村真史、住田弘祐、三根生晋、町田雅武、吉越章隆、鈴木哲、横山和司、大橋雄二、黒澤俊介、鎌田圭、佐藤浩樹、山路晃広、吉野将生、花田貴、横田有為、吉川彰
2. 発表標題 ゲートスタック界面反応における時分割深さ方向分布解析法の開発:NAP-HARPES から4D-XPSへ
3. 学会等名 第26回電子デバイス界面テクノロジー研究会 - 材料・プロセス・デバイス特性の物理 -
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 豊田智史、山本知樹、吉村真史、住田弘祐、三根生晋、町田雅武、吉越章隆、吉川彰、鈴木哲、横山和司
2. 発表標題 時分割角度分解AP-XPS法による多層積層薄膜界面の時空間深さ方向分布解析
3. 学会等名 第34回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小川修一, H. Yamaguchi, E. F. Holby, 山田貴壽, 吉越章隆, 高桑雄二
2. 発表標題 高エネルギーO ₂ 分子ビームに対する Cu 上グラフェンのバリア性能評価
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 豊田智史、山本知樹、吉村真史、住田弘祐、三根生晋、町田雅武、吉越章隆、鈴木哲、横山和司、大橋雄、黒澤俊介、鎌田圭、佐藤浩樹、山路晃広、吉野将生、花田貴、横田有為、吉川彰
2. 発表標題 4D-XPS 法による多層積層膜に埋もれた界面反応可視化の 逆解析シミュレーション検証
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	富永 亜希 (Tominaga Aki) (50590551)	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・原子力科学研究部門 原子力科学研究所 物質科学研究センター・技術・技能職 (82110)	
研究分担者	津田 泰孝 (Tsuda Yasutaka) (50869394)	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・原子力科学研究部門 原子力科学研究所 物質科学研究センター・博士研究員 (82110)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------