

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 13 日現在

機関番号：24506

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26820116

研究課題名(和文)ストロンチウムシリケートを用いたSi太陽電池用電界効果パッシベーション膜の開発

研究課題名(英文) Investigation of Sr-silicate layer as field effect passivation film for Si solar cell

研究代表者

堀田 育志 (Hotta, Yasushi)

兵庫県立大学・工学研究科・准教授

研究者番号：30418652

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、シリコン基板上に成長させたストロンチウムシリケート($\text{Sr}_x\text{SiO}_{x+2}$, $x = 1, 2, 3$)膜の結晶シリコン太陽電池用電界効果パッシベーション膜としての性能を実効電荷密度(Q_{eff})の観点から調査した。酸素雰囲気中で400℃でアニールした Sr_2SiO_4 膜では Q_{eff} 値が単位面積当たり 1.03×10^{13} 乗に達し、電荷効果パッシベーション膜として十分な電荷量となった。アニール温度上昇により界面特性及び電荷特性は低下すること、及び、電荷がSrシリケート/Si基板界面近傍に集中することからアニオンとカチオンの移動による電気双極子の発生が固定電荷の起源になっていることがわかった。

研究成果の概要(英文)：We studied strontium silicate ($\text{Sr}_x\text{SiO}_{x+2}$, $x = 1, 2, 3$) films as field effect passivation layer for c-Si solar cells from the viewpoint of effective net charge density (Q_{eff}). The Q_{eff} values of the $\text{Sr}_x\text{SiO}_{x+2}/\text{Si}$ (100) samples were obtained from the shift in voltage of the flat band state in their capacitance - voltage curves. The $\text{Sr}_2\text{SiO}_4/\text{Si}$ (100) ($x=2$) samples with a thickness of 15 nm annealed at 400 °C showed the maximum Q_{eff} value of $1.03 \times 10^{13} \text{ C/cm}^2$, which is enough positive charge to work as the field effect passivation layer. With increasing annealing temperature, the $\text{Sr}_x\text{SiO}_{x+2}$ layer penetrated into the Si (100) substrate. This penetration may degrade the interfacial properties and decrease the Q_{eff} value of the layers. For all the samples, the charges concentrated near the $\text{Sr}_2\text{SiO}_4/\text{Si}$ (100) interface. It suggests that anion and cation migration play important roles in charge generation at the $\text{Sr}_x\text{SiO}_{x+2}/\text{Si}$ (100) interface.

研究分野：材料科学

キーワード：Srシリケート シリコン 固定電荷 電界効果パッシベーション 太陽電池

1. 研究開始当初の背景

結晶シリコン(c-Si)太陽電池の開発は、パネル製造のコストダウンの観点から、材料費の削減を目指した基板材の薄型化が進められている。しかし、それに伴い表面/バルクの体積比の増大による半導体表面でのキャリア再結合が変換効率を下げるという問題を招いており、この問題を解決するため半導体表面、特に裏面界面のパッシベーションが重要になっている。ここで一つのアプローチとして、電界効果パッシベーション(Field-Effect Passivation: FEP)が注目されている。[1] 変換効率減少の主要因である半導体界面におけるキャリアの再結合は、界面準位密度と界面少数キャリア量に比例する。FEPではパッシベーション層の固定電荷が生じる電界効果によって界面少数キャリアの量を減らし、キャリア再結合速度を下げる。このため、変換効率の向上には、高い固定電荷密度のパッシベーション層が求められる。

固定電荷を導入するパッシベーション層としては、現在 AlO_x が広く用いられている。[2] AlO_x は、作製条件により膜中に 10^{12} cm^{-2} 以上の負の固定電荷を導入することが可能であり、現在主流の p-Si 太陽電池の裏面パッシベーションへの応用が検討されている。しかし、現状では固定電荷の起源やその効果に関する物理的モデルが不明であることから、学術的な観点からこれらを解明することが求められている。 AlO_x/Si 界面では、試料作製手法によって SiO_x やシリケート生成など、構造にばらつきがあり、[3,4] 統一した見解が得られていない。一方、工学的な観点から、p-Si 基板ではドーパントである B が太陽光照射時に酸素との重合体を構成し、それがキャリアの再結合中心になる問題が存在するため、将来的には n-Si 基板の利用が高効率化を目指す上で重要であると考えられている。2013 年度のヨーロッパ太陽電池学会 (EUPVSEC) で報告された内容も n-Si に関するものが多くを占めた。以上の様な状況を踏まえ、高い正の固定電荷密度を有するパッシベーション層の開発は重要課題の一つであると考えられる。

正の固定電荷を有するパッシベーション層材料として $\text{Sr}_x\text{SiO}_{x+2}$ が挙げられる。我々の研究から、 Sr_2SiO_4 の組成の層が、膜中に正の固定電荷を持つことが分かっている。さらに興味深いことに、 $\text{Sr}_2\text{SiO}_4/\text{Si}(100)$ 界面自体が $1.4 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ にも及ぶ固有の正電荷が存在することが示唆された。また、 $\text{Sr}_x\text{SiO}_{x+2}/\text{Si}$ 界面では、 SiO_x 層が形成しないため、構造が単純になり、起源解明や物理モデルの構築が容易になると考えられる。本研究では、 Sr_2SiO_4 のパッシベーション効果について詳細に調べることを目的とし、加えて、n-Si 基板用の正の固定電荷を持つ電界効果パッシベーション膜の開発を目指す。

2. 研究の目的

1) $\text{Sr}_x\text{SiO}_{x+2}$ の組成と膜中固定電荷の関連性とその起源解明

これまでの結果から、 $\text{Sr}_x\text{SiO}_{x+2}$ の組成が変化すると固定電荷量が変化する傾向が見られている。そこで組成と膜中固定電荷の関係を系統的に調べることで、組成に対する固定電荷相図を作成し、固定電荷密度が最大となる組成を見つけ出す。また、膜中固定電荷の発生に関して、膜中酸素欠損の影響などを基に、その起源を明らかにする。

2) $\text{Sr}_x\text{SiO}_{x+2}/\text{Si}(100)$ 界面における界面電荷の起源

膜厚がゼロの点でも $1.4 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ の固定電荷が存在するという結果が得られている。[5] これは、その界面に電荷を発生させる起源が存在することを意味している。そこで、試料の界面結晶構造と界面元素の化学状態を詳細に調べることで、この界面電荷の起源を明らかにする。

3) $\text{Sr}_x\text{SiO}_{x+2}$ 層/n-Si(100) 構造における表面再結合速度の評価とパッシベーション効果の検証

組成、界面固定電荷、膜中固定電荷の 3 つパラメータを制御することで、 $5 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ 以上の正の固定電荷をもつ $\text{Sr}_x\text{SiO}_{x+2}$ のパッシベーション層を実現する。また、n-Si(100) 基板にそのパッシベーション層を適用し、実際に表面の再結合速度を評価し、 $\text{Sr}_x\text{SiO}_{x+2}$ のパッシベーション効果を検証する。

3. 研究の方法

1) $\text{Sr}_x\text{SiO}_{x+2}$ の組成と膜中固定電荷の関連性と固定電荷の起源解明

$\text{Sr}_x\text{SiO}_{x+2}/\text{Si}(100)$ 組成傾斜試料の作製 $\text{Sr}_x\text{SiO}_{x+2}$ ($x=1,2$) 膜をパルスレーザー堆積 (PLD) 法によって作製した。各組成の単層膜について成膜条件の最適化を行い、得られた最適条件において組成傾斜コンビナトリアル法を用いて各組成の組成傾斜コンビナトリアル薄膜を作製した。

試料の組成評価

試料の組成は、マイクロ XPS を用いて評価した。この測定では、 $10 \mu\text{m}$ 径程度に絞った X 線源を用いて光電子分光スペクトルを測定することで、数十 μm のオーダーで試料の組成分布を測定可能である。

電気特性の組成依存性

固定電荷分布の評価には、主に容量 - 電圧 (C-V) 測定を用いた。 $\text{SrSiO}_3\text{-Sr}_2\text{SiO}_4$ システムの組成傾斜試料表面に形成した微小電極を用い、C-V 曲線のフラットバンド電圧から求めた固定電荷量を試料の組成分布に対して系統的に評価することで $\text{SrSiO}_3\text{-Sr}_2\text{SiO}_4$ の固定電荷相図を作成した。

2) $\text{Sr}_x\text{SiO}_{x+2}/\text{Si}(100)$ 界面における界面固定電荷の起源

これまでの研究より、 $\text{Sr}_2\text{SiO}_4/\text{Si}(100)$ 界面では、 $1.4 \times 10^{12} \text{cm}^{-2}$ の固定電荷に相当する電荷が存在することが分かっている。そこで、この試料の界面状態と固定電荷の相関を試料お膜厚依存性より評価した。XPS 及び C-V 測定による試料の深さ方向に対する界面化学状態と電荷分布から、固定電荷発生源のモデルを提唱した。

3) $\text{Sr}_x\text{SiO}_{x+2}/n\text{-Si}(100)$ 構造における表面再結合速度の評価とパッシベーション効果の検証

組成と固定電荷密度の相関をもとに、より高い電界効果が得られる組成の $\text{Sr}_x\text{SiO}_{x+2}$ 層を用いて Si 基板界面における再結合速度の測定を行った。擬定常状態光伝導ライフタイム測定(QSSPC)法を用いたキャリアの表面再結合速度の測定を通して、 $\text{Sr}_x\text{SiO}_{x+2}/n\text{-Si}(100)$ 界面のキャリア再結合速度の評価を行った。

4. 研究成果

1) $\text{Sr}_x\text{SiO}_{x+2}$ の組成と膜中固定電荷の関連性調査するため、 $\text{Sr}_x\text{SiO}_{x+2}$ ($x=1 \sim 2$) の組成傾斜コンビナトリアル薄膜の作製を行った。図1に試料の模式図を示す。スライディングマスクを利用して、それぞれ左右逆方向に膜厚傾斜をつけた SrSiO_3 層(図1の黄緑)と Sr_2SiO_4 層(緑)の交互堆積層を1セット(5nm)とし、これを8セット積層することでトータル40nmの薄膜を作製した。成膜後、試料のアニール処理を行うことで、試料の焼成を行った。アニール処理は、酸素雰囲気中、400 の条件で行った。

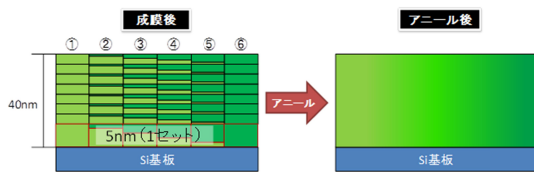


図1：組成傾斜試料の模式図

次に、図1の①～⑥までの6つの領域についてマイクロ XPS 測定による組成分析を行った。Sr 3d と Si 2p の内殻光電子スペクトルより Si/Sr の比を算出したものを図2に示す。

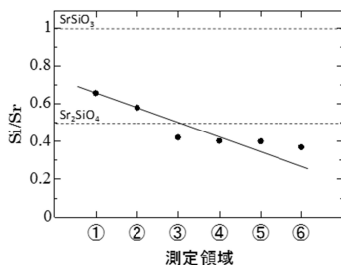


図2：組成傾斜試料の面内 Si/Sr 比

この結果より、作製した試料で組成の設計通りの組成傾斜が実現していることを確認した。

続いて、組成傾斜試料の C-V 測定の結果を図3に示す。実際に作製した試料では、ほぼ連続的に組成を変化させている。そこで、微小な電極を形成することで組成傾斜方向12箇所での測定を行った。図3より、組成が Sr_2SiO_4 から SrSiO_3 に変化すると飽和容量とフラットバンド電圧シフトに関して系統的な変化が見られた。

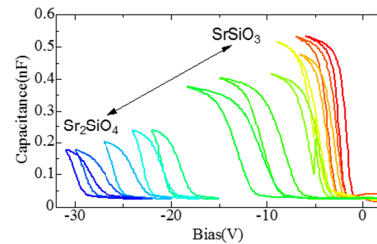


図3：組成傾斜試料の C-V 曲線

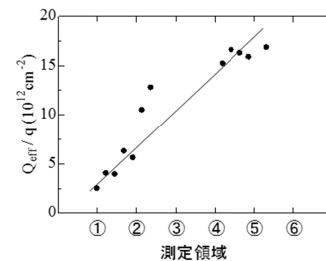


図4：XPS による測定領域と C-V 曲線より求めた実効固定電荷密度の相関

XPS 測定の結果と C-V 曲線より求めた実効固定電荷密度の関係相関を図4に示す。図に示す SrSiO_3 、 Sr_2SiO_4 であることから、Sr 組成が2で最大の固定電荷密度を持つことがわかった。

今回の実験では、 SrSiO_3 と Sr_2SiO_4 の間の組成依存性を調査した。一方、 Sr_3SiO_5 組成の試料に関しては、ターゲット材が潮解するために成膜ができなかった。つまり、この組成は大気安定性が期待できず、実際の電荷膜の使用に耐えないと考えられる。

2)組成傾斜膜の実験より、大きな固定電荷を有する電荷膜を実現するためには Sr_2SiO_4 組成が有望であることがわかった。一方、組成傾斜膜は作製工程が複雑であるため、実際の利用では単層膜の方が制作コストの面から重要となる。そこで、 Sr_2SiO_4 単層膜について、固定電荷が最大となる作製、アニール条件の探索を行った。

図5は、室温で堆積した Sr_2SiO_4 膜を400、500、600 の3条件でアニール処理した薄膜について、固定電荷と Sr_2SiO_4 膜厚の関係を示したものである。300 以下では良好な電気特性が得られず、また700 以

上では界面に SiO₂ 層が成長することがわかっていて、ここで、400 でアニールした試料では、膜厚が 15nm のときに最大で $1 \times 10^{13} \text{cm}^{-2}$ もの固定電荷が得られることがわかった。この値は、単層膜としては非常に大きなもので、高い固定電荷を持つことで知られる Al₂O₃ 膜以上であることがわかった。また、膜厚が 15nm 以下の領域において急激に電荷が増加していることから、参考文献[5]の結果と同様に、界面近傍に電荷が集中していると考えられる。

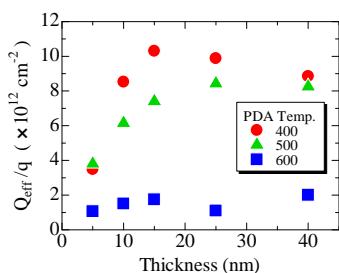


図 5 : 各温度でアニールされた Sr₂SiO₄/Si 構造における固定電荷密度の膜厚依存性

一方、500、600 の試料では固定電荷密度は減少することがわかった。この結果は、よく再現することから、これらの温度によるアニール処理では、界面状態に何らかの変化が引き起こされていると考えられる。そこで、界面近傍の特性を詳細に調査した。

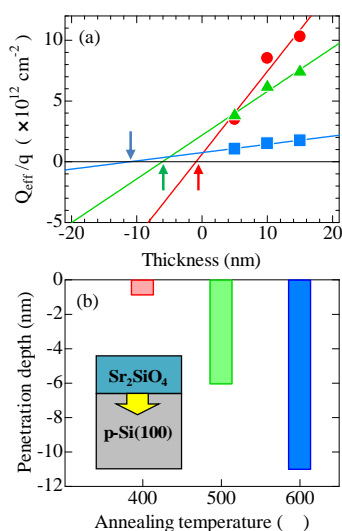


図 6 : (a) 15nm 以下の領域での実効固定電荷と Sr₂SiO₄ 膜厚の関係と (b) Si 基板側へのシリケート層の広がり

図 6 は、図 5 の 15nm 以下の領域を拡大した図である。この領域では、電荷面密度が一定であること仮定すると、電荷は膜厚に対して直線的に増加するとみなせる。そこで、最小二乗法による線形フィッティングを行っ

たところ、電荷軸切片において負の膜厚が観測された。この負の膜厚は、アニール温度の増加とともに大きくなることから、また、段差プロファイラで測定される Sr₂SiO₄ 膜の実膜厚は増加していないことから、この負の膜厚は、シリケート層が Si 基板側へに広がっていることを表している。このことは、Si 2p 内殻光電子スペクトルの変化からも捉えられている。

次に、これら固定電荷の発生起源について考察を行った。Shimura 達は[6]、SrO/Si 界面の MD 計算の結果から、その界面にシリケート層が形成するとともに電気的雙極子が生じることを報告している。そこで、我々の試料界面でも同様のことが起こっていると考え、実験結果の説明を試みた。まず、400 以上のアニールにおいて界面反応が引き起こされる。このとき、Sr₂SiO₄ 膜から Si 側に Sr イオンの拡散が起こり、それによって + の雙極子が生じることによって正固定電荷が半導体表面に生じる。一方、500 以上では、Sr イオンと同時に酸素イオンも拡散することで、Si 基板側シリケート層の増加が起こる。酸素イオンは、負の電荷を持っているため、Sr イオンが生じた雙極子を相殺する働きをする。これによって、正の実効固定電荷密度は減少すると考えられる。実際、界面の O 1s 内殻光電子スペクトルより、アニール温度の増加とともに酸素イオンの拡散が起こっていることが確認できる。(図 7)

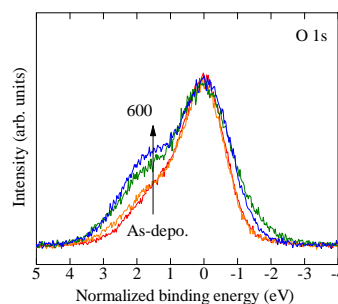


図 7 : O 1s 内殻光電子スペクトルのアニール温度依存性

よって、Sr_xSiO_{x+2}/Si 構造に見られる固定電荷は、シリケート層の形成と Sr イオンの偏りによる電気雙極子の発現がその起源であることが明らかとなった。

3) QSSPC 法により Sr₂SiO₄/p-Si(100) 試料のライフタイム測定を行った。測定結果から、Sr シリケート層の有無で実効ライフタイム (約 250μsec) に大きな差がみられなかった。PLD 法によって作製できる試料サイズは、最大で 1cm×1cm であり、この試料サイズではライフタイムは試料の端面の影響を受けてしまうため、正しい測定が行われていないことが考えられる。また、試料の界面準位密度が $1 \times 10^{12} \text{cm}^{-2}$ と大きいことも影響していると考えられる。今後の課題として、スパッタ

法などによる試料の大面積化と界面準位の提言が挙げられる。

<引用文献>

- [1] J. Plasma Fusion Res. 85, 820 (2009).
- [2] J. Appl. Phys. 104, 113703 (2008).
- [3] Appl. Phys. Lett. 100, 143901 (2012).
- [4] J. Appl. Phys 104, 113703 (2008).
- [5] J. Vac. Sci. Technol. A 34, 61506 (2016).
- [6] Jpn. J. Appl. Phys. 55, 04EB03 (2016).

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3件)

1. S. Taniwaki, K. Imanishi, M. Umamo, H. Yoshida, K. Arafune, A. Ogura, S. Satoh, and Y. Hotta, Investigation of the static electric field effect of strontium silicate layers on silicon substrates, J. Appl. Phys. (2017) in press (査読有り)
2. S. Taniwaki, H. Yoshida, K. Arafune, A. Ogura, S. Satoh, and Y. Hotta, Correlation between chemical-bonding states and fixed-charge states of Sr-silicate film on Si(100) substrate, J. Vac. Sci. Technol. A 34, 61506-1 - 61506-7 (2016) (査読有り) DOI: 10.1116/1.4966904
3. Y. Hotta, S. Ueoka, H. Yoshida, K. Arafune, A. Ogura, and S. Satoh, Room temperature formation of Hf-silicate layer by pulsed laser deposition with Hf-Si-O ternary reaction control, AIP Advances 6, 105303-1 - 105303-7 (2016) (査読有り) DOI: 10.1063/1.4964932

[学会発表](計23件)

1. 堀田 育志, 佐伯 郁弥, 西 慎太郎, 伊藤 明, 中西 英俊, 吉田 晴彦, 新船 幸二, 佐藤 真一, 斗内 政吉, 川山 巖, High-k/SiO₂ 界面双極子に起因するシリコン表面バンドベンディングのレーザーTHz 放射顕微鏡による直接観察, 第 64 回応用物理学会春季学術講演会, 16a-413-9, 2017 年 3 月 16 日, パシフィコ横浜 (神奈川県横浜市)
2. 谷脇 将太, 馬野 光博, 新船 幸二, 吉田 晴彦, 佐藤 真一, 堀田 育志, フーリエ変換赤外分光法による Si(100) 基板上的 Sr₂SiO₄ 薄膜の評価, 第 64 回応用物理学会春季学術講演会, 14a-213-11, 2017 年 3 月 14 日, パシフィコ横浜 (神奈川県横浜市)
3. Y. Hotta, Metal-silicon-oxygen ternary reaction control at oxide/silicon interface by pulsed laser deposition, Symposium on Surface Science & Nanotechnology -25th Anniversary of SSSJ Kanazai, 25S3-I3 (Invited), Jun. 25 2017, Kyoto International Community House (Sakyo-ku, Kyoto).

4. S. Taniwaki, M. Umamo, H. Yoshida, K. Arafune, S. Satoh, Y. Hotta, Influence of Post Annealing Treatment on Fixed Charge State and Chemical Bonding State of Sr-silicate film, The 2016 International Conference on Solid State Device and Materials, PS-8-5, Sept. 28 2016, Tsukuba International Congress Center (Tsukuba, Ibaraki).
5. S. Taniwaki, Y. Hotta, H. Yoshida, K. Arafune, A. Ogura, and S. Satoh Investigation of the relationship between fixed charge state and chemical-bonding state of Sr₂SiO₄ film on Si(100) substrate, The 36th Electronic Materials Symposium, Th3-27 July 7 2016, Laforet BIWAKO (Moriyama, Shiga).
6. 西 慎太郎, 上岡 聡史, 谷脇 将太, 吉田 晴彦, 新船 幸二, 佐藤 真一, 堀田 育志, PLD 法により SiO ターゲットから作製した SiO₂ 薄膜の表面ラフネス評価, 第 77 回応用物理学会春季学術講演会, 14a-A37-1, 2016 年 9 月 14 日, 朱鷺メッセ (新潟県新潟市)
7. 山口 瑠偉, 村岡 敬太, 堀田 育志, 佐藤 真一, PLD 法で Si(100) 基板上に作製した (La_{1-x}Sr_x)VO₃ 薄膜の電気特性評価, 第 77 回応用物理学会春季学術講演会, 14a-A37-4, 2016 年 9 月 14 日, 朱鷺メッセ (新潟県新潟市)
8. 谷脇 将太, 今西 啓司, 馬野 光博, 吉田 晴彦, 新船 幸二, 佐藤 真一, 堀田 育志, PLD 法により Sr₂SiO₄ ターゲットから作製した Sr₂SiO₄ 薄膜の膜中固定電荷のアニール時間依存性, 第 63 回応用物理学会春季学術講演会講演予稿集, 21a-H103-4, 2016 年 3 月 21 日, 東工大大岡山キャンパス (東京都目黒区)
9. 上岡 聡史, 三宅 省三, 堀田 育志, 吉田 晴彦, 新船 幸二, 佐藤 真一, HfO₂/SiO₂/Si 構造における C-V 特性のアニール温度依存性, 第 63 回応用物理学会春季学術講演会講演予稿集, 21a-H103-10, 2016 年 3 月 21 日, 東工大大岡山キャンパス (東京都目黒区)
10. 堀田 育志, 金属シリケート材料および High-k 超構造を用いた静的電界効果層の開発, 次世代分散エネルギーセンターシンポジウム, 2016 年 2 月 20 日, 書写記念会館 (兵庫県姫路市)
11. S. Taniwaki, Y. Hotta, H. Yoshida, K. Arafune, A. Ogura, S. Satoh, Investigation of interface state density and fixed charge of Sr_xSiO_{x+2} on the 2×1 Sr-reconstructed Si substrate, The 2015 International Conference on Solid State Device and Materials, C-7-2, Sept. 30 2015, Sapporo Convention Center (Sapporo).
12. 今西 啓司, 谷脇 将太, 馬野 光博, 吉田 晴彦, 新船 幸二, 佐藤 真一, 堀田 育志, PLD 法により Sr₂SiO₄ ターゲットから作製した Sr₂SiO₄ 薄膜の膜中固定電荷のアニール

温度依存性、第76回応用物理学会秋季学術講演会講演予稿集、13p-2Q-18、2015年9月13日、名古屋国際会議場(愛知県名古屋市)

13. 上岡 聡史、三宅 省三、吉田 晴彦、新船幸二、佐藤 真一、**堀田 育志**、HfO₂成膜におけるPLDレーザー強度がSi基板の表面酸化に与える影響、第76回応用物理学会秋季学術講演会講演予稿集、13p-2Q-12、2015年9月13日、名古屋国際会議場(愛知県名古屋市)

14. 馬野 光博、谷脇 将太、今西 啓司、吉田晴彦、新船 幸二、佐藤 真一、**堀田 育志**、PLD法によりSrSiO₃多結晶ターゲットから作製したSr-Silicate 薄膜の化学組成と化学結合状態、第76回応用物理学会秋季学術講演会講演予稿集、13p-2Q-13、2015年9月13日、名古屋国際会議場(愛知県名古屋市)

15. 今西啓司、谷脇将太、馬野光博、**堀田育志**、吉田晴彦、新船幸二、小椋厚志、佐藤真一、Sr₂SiO₄ターゲットで作製したSr₂SiO₄膜組成のアニール温度依存性、第62回応用物理学会春季学術講演会講演予稿集、12a-D8-1、2015年3月12日、東海大学湘南キャンパス(神奈川県平塚市)

16. 三宅省三、豊嶋祐樹、上岡聡史、**堀田育志**、吉田晴彦、新船幸二、小椋厚志、佐藤真一、2種類のHigh-k材料とSiO_xを用いた三色超構造の作製、第62回応用物理学会春季学術講演会講演予稿集、12a-D8-2、2015年3月12日、東海大学湘南キャンパス(神奈川県平塚市)

17. 稲垣遼、近成将、**堀田育志**、佐藤真一、PLD法によるSi基板上へのLaVO₃薄膜の作製、第62回応用物理学会春季学術講演会講演予稿集、12a-D8-8、2015年3月12日、東海大学湘南キャンパス(神奈川県平塚市)

18. S. Taniwaki, **Y. Hotta**, H. Yoshida, K. Arafune, A. Ogura, S. Satoh, Investigation of the Correlation Between Chemical Bonding States and Fixed Charge States for Sr-silicate Passivation Films on Si(100) Substrates, The 6th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, 2TuPo.4.17, Nov. 25 2014, Kyoto International Conference Center (Sakyo-ku, Kyoto).

19. S. Taniwaki, **Y. Hotta**, H. Yoshida, K. Arafune, A. Ogura, S. Satoh, Investigation of chemical-bonding state and fixed charge state of Sr₂SiO₄ film on Si(100) substrate, The 2014 International Conference on Solid State Device and Materials, PS-15-6, Sept. 10 2014, Tsukuba International Congress Center ((Tsukuba, Ibaraki).

20. 谷脇将太、今西啓司、**堀田育志**、吉田晴彦、新船幸二、小椋厚志、佐藤真一、SrO 終端のSi(100)2×1再構成基板上に成長したSr_xSiO_{x+2}薄膜の電気特性、第75回応用物理学会秋季学術講演会講演予稿集、19p-A25-16、2014年9月19日、北海道大学(北海道札幌市)

市)

21. 稲垣遼、**堀田育志**、佐藤真一、PLD法によるSi基板上へのSrVO₃薄膜の作製、第75回応用物理学会秋季学術講演会講演予稿集、18p-A11-12、2014年9月18日、北海道大学(北海道札幌市)

22. 今西啓司、谷脇将太、**堀田育志**、吉田晴彦、新船幸二、小椋厚志、佐藤真一、PLD法によるSr₂SiO₄多結晶ターゲットを用いたSr₂SiO₄薄膜のSi基板上への作製、第75回応用物理学会秋季学術講演会講演予稿集、17p-A11-11、2014年9月17日、北海道大学(北海道札幌市)

23. 三宅省三、豊嶋祐樹、**堀田育志**、吉田晴彦、新船幸二、小椋厚志、佐藤真一、AlO_x/Si前駆体のポストアニール処理によるAlO_x/SiO_x構造の作製、第75回応用物理学会秋季学術講演会講演予稿集、17p-A11-12、2014年9月17日、北海道大学(北海道札幌市)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計1件)

名称:
発明者:堀田育志 他
権利者:兵庫県立大学
種類:特許
番号:特許願 2015-35675
出願年月日:平成27年2月26日
国内外の別:国内

○取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等
<http://www.eng.u-hyogo.ac.jp/eecs/hotta/index.html>

6. 研究組織

(1)研究代表者

堀田 育志 (Hotta, Yasushi)
兵庫県立大学・工学研究科・准教授
研究者番号:30418652

(4)研究協力者

谷脇 将太 (Taniwaki, Shota)
兵庫県立大学・工学研究科・博士後期課程3年
吉田 晴彦 (Yoshida, Haruhiko)
兵庫県立大学・工学研究科・准教授
新船 幸二 (Arafune, Koji)
兵庫県立大学・工学研究科・准教授
佐藤 真一 (Sato, Shin-ichi)
兵庫県立大学・工学研究科・特任教授