

令和 5 年 5 月 29 日現在

機関番号：11501

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H01884

研究課題名（和文）ラジカル表面励起室温原子層堆積による複合酸化膜超格子作製法の研究

研究課題名（英文）A study of compositite oxide super lattices fabricated by radical-surface-excitation room-temperature atomic layer deposition

研究代表者

廣瀬 文彦（Hirose, Fumihiko）

山形大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：50372339

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 11,600,000円

研究成果の概要（和文）：ラジカル表面励起原子層堆積で複合酸化物堆積技術を開拓した。ナノ周期で異種酸化物を積むことで新機能発現を狙うとともに、結晶化して超格子化する研究を行った。Si材料とAl材料の競合吸着を観察し、Si材料を先にAl材料を後に吸着させる連続吸着法を作り上げ、アルミシリケート膜のAlとSiの濃度比を調整できた。濃度が膜のカチオン吸着性に強く影響し、制御の効果を確認した。シリカとアルミシリケートのナノ周期化でさらに吸着性能が向上できることを明らかにした。TiO₂とAl₂O₃のナノ周期膜でガスバリアを確認することができた。ZnOは室温で結晶化が可能であり、ドーピングによる結晶化促進の示唆を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

金属酸化物は光触媒や半導体材料として使われるが、単元素酸化物で示される物性機能は限られている。これが異種の酸化物を濃度を自在に制御して複合することで、それぞれの材料とは異なった機能物性を期待することができる。本研究では、アルミニウムシリケート膜を中心に濃度制御によるイオン吸着膜としての性能増進を示すことができ、上記考えの可能性を示すことができたと考えられる。さらに結晶化を進め、量子化学計算と協同することで、新無機酸化物材料創成科学の学理開拓につながると考えられる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we aimed to develop the RT atomic layer deposition that allows for the combinative oxide film deposition with the atomic concentration control. We also aimed to develop the crystallization of the deposited film. In the aluminum silicate deposition, the successive adsorption of TDMAS followed by the TMA adsorption enabled the concentration-controlled film-deposition. In the cation absorption test, the Al to Si ratio in the aluminum silicate was necessary to be controlled to achieve its maximum absorptivity. We also examined the nanometer-thick periodically deposited film of TiO₂ and Al₂O₃ that exhibited a suppression of the water vapor transmission in the film. It was also clarified that the RT atomic layer deposition achieved the ZnO crystallization, suggesting Zn doping as a crystallization technique.

研究分野：ナノテクノロジー 電気電子材料

キーワード：原子層堆積法 酸化物 異種接合 結晶化 複合酸化膜 ナノ周期化 超格子

1. 研究開始当初の背景

超 LSI プロセスは、アトムスケールで膜厚制御を行うところまで進んできた。デバイスを原子精度で形成するには、プロセスを低温化し、急峻な界面を作る必要がある。このために原子層堆積法 (ALD) が研究されている。これは、気体原料分子 (MO ガス) を基板表面に 1 分子層だけ飽和吸着させ、酸化ガスで表面の酸化を行う。これを繰り返すことで原子層単位で金属酸化物を堆積させる方法である。ALD はこれまで LSI 製造、高誘電率ゲート形成法として研究されてきた。ゲート膜として、かつて酸化ハフニウムが用いられたが、製膜に 300°C 以上の温度が必要で、酸化物の界面で固相反応が起こり、界面層が生じ、フラットバンド電圧が不安定になる問題があった。このため急峻な原子界面を作る室温プロセスが望まれていた。

申請者は、ALD において低温になると有機金属ガスの吸着に必要な OH 基が表面で欠乏し、吸着が妨げられることを見出し、加湿アルゴンプラズマから屈曲流路を通して取り出される OH ラジカルを製膜表面に照射する方法を発明し室温堆積につなげた¹⁾。この装置は、アルゴンをキャリアとした水蒸気を別容器でプラズマ化し、中性ラジカルのみを取り出し、アルゴンキャリアで反応容器に導入するもので、ほとんど全種の金属酸化物が室温で形成でき、高エネルギーイオンがないため極めて膜ダメージを抑えた製膜が可能であることを見出した。また、従来のプラズマ ALD やスパッタでは不可能であった回り込みでの全面製膜や多数同時処理が可能などの革新的な特長を見出している。フレキシブルフィルム上での酸化膜コートを実現し、防食膜やガスバリアとしての可能性を見出すに至っている。

申請者は上記背景においてラジカルによる表面励起を活用した低温原子層堆積法において、反応をきわめて精密に制御し、濃度を調整して作られる複合酸化物薄膜の製造技術を開拓する研究を着手するに至った。そしてそれをナノメートル周期で積み上げ、単層膜では得られない、ナノ周期化による新機能発現を狙い、さらに可能であれば結晶化して超格子化する技術を獲得するべく本研究を開始した。

2. 研究の目的

本研究の目的は、従来のプラズマ CVD、スパッタなどのプラズマプロセスで未踏であった複合酸化物超格子製造のためのラジカル励起型室温原子層堆積を確立することである。2 種類以上の酸化物を複合させた複合酸化物は電子材料分野では IGZO が知られるが、成功例は限られている。低温で自在に複合し合成ができる技術は新規物性の開拓に貢献する。従来のスパッタは、室温での製膜が難しく、高温やプラズマダメージで有機フィルム表面への形成ができなかったが、本研究でそれが可能になる。

本研究では、超格子薄膜を作るために、組成制御のための有機金属ガスの酸化物表面での競合吸着反応の解明と吸着密度制御法の獲得、さらに原子表面をソフトに酸化せしめる好適な表面励起法の開発を行う。具体的には、原子レベルでの急峻な界面を生かし、酸化物超格子の製造技術を開発する。また新物性を開拓するために、従来未踏であった複合酸化物の超格子製造を、本 ALD およびプラズマラジカル源で開発する。アウトプットとして、フレキシブルイオン吸着膜、超ハイバリア膜を狙う。

3. 研究の方法

① 複合原子層堆積のその場観察装置整備

有機金属ガス分子の競合吸着反応を観察するために、図 1 に示すその場観察システムを整備する。複数のガスを精密に導入する機構を追加する。ここではプリズム Si を試験体とし、赤外光を内部に通し、65 回反射を繰り返し、透過光を InSb 検出器で検出する。

② アルミナシリケート表面でのトリメチルアルミ、有機シリコンガスの競合吸着現象の評価

表面に第一分子照射として有機 Al が吸着すると、第二吸着で有機 Si を照射したときに、飽和ではなく、加速吸着による非飽和が起きることが分かっている。この飽和と非飽和の表面 Al 濃度依存性を予見できなければ、複合酸化膜としての膜組成の精密調整は困難である。本研究では、表面の Al と Si 濃度を変えながら、トリメチルアルミニウム、テトラメチルアミノシランの飽和特性をその場観察し、表面濃度比と照射量で、飽和、非飽和の相図を作り、反応のモデル化を行った。

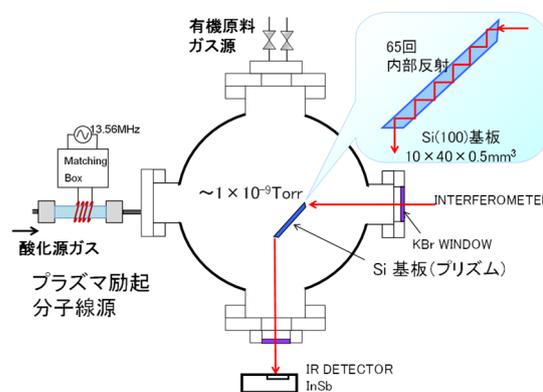


図 1 複合酸化物室温原子層堆積装置とその場観察評価装置

③ 複合飽和吸着表面のラジカル源の開発

申請者が発明した励起加湿アルゴンプラズマから取り出される OH ラジカルを、複合飽和吸着表面に照射したときの表面酸化を多重内部反射赤外吸収で評価し、とくに最表面のみを効率よく酸化する条件を抽出した。

④ ナノ周期超薄膜の作製と新機能性の実証

アルミニウムシリケートとSiO₂からなるナノ周期膜の作製を試みる。ここでは、イオン交換吸着機能の実現と、単層のアルミナシリケートと比較して吸着特性の向上を狙う。また、膜の結晶化の可能性を明らかにする。さらに、酸化アルミニウムと他の膜のナノ周期構造膜を製作し、ガスバリア膜としての機能性を明らかにする。他の膜としては、酸化チタン、さらに窒化アルミニウムとの接合について試験を行った。

4. 研究成果

以下に得られた研究成果の概要についてまとめる。

① アルミニウムシリケート複合膜の濃度制御技術の構築と原料ガスの競合吸着反応評価²⁾

アルミニウムシリケート膜はゼオライトミネラル鉱の主成分であり、素材中のAl原子がSiO₂に囲まれ、IV価原子のような構造をとることにより、負に帯電し、水溶液中のカチオンを吸着する機能がある。これは例えば原子力汚染水中のCsイオンを吸着除去する技術にも利用可能である。ここで、原料にトリメチルアルミニウム(Al系材料, TMA)とトリスジメチルアミノシラン(Si系材料, TDMAS)をもちいて、連続吸着を行い、続いてプラズマ励起加湿アルゴンで酸化し、これを繰り返すことで、アルミニウムシリケート膜の積層を行った。その結果、原料ガス吸着工程では、TDMASを室温(25°C)で表面に 2×10^{-5} L(1 L = 1.33×10^{-4} Pa·s)で飽和吸着させ、その後TMAの照射量を調整することで、膜中のSi/Alの原子比を0.2程度から1.3程度まで調整できることが分かった(図2)。また、PENフィルム上に形成した、アルミニウムシリケート膜に10mMのNaCl溶液に浸漬させ、純水洗いしたあとの表面から取得したX線光電子スペクトルを図3に示す。Na光電子が検出され、この薄膜がNa吸着機能を有することが明らかになった。また濃度調整した膜で試験したところ、膜中のAlとSiの原子濃度比を1:1にすることで、吸着機能が最大化されること明らかにした。なお、この試験では科研費研究をとおして、表面酸化において最適調整されたプラズマ源が使用されている。

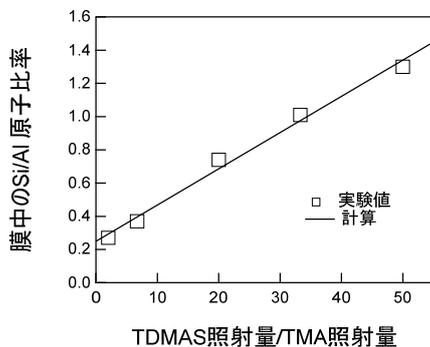


図2 Si上に製膜したアルミにシリケート膜における原料ガスの照射比に対する膜中のSi/Al原子比の変化。

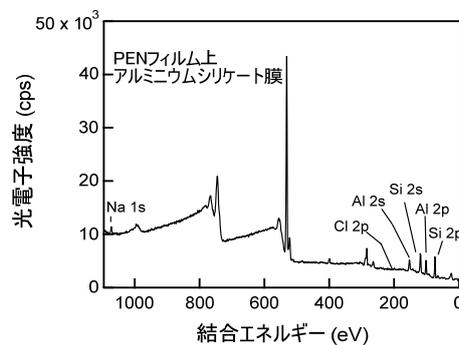


図3 PENフィルム上に形成したアルミニウムシリケート膜にNaCl溶液に接触させた表面から取得した光電子スペクトル。

ここでの試験では、室温原子層堆積法で膜形成を行ったが、原料ガス導入において、Al系ガスが先か、Si系が先か、そして照射条件をどうするかという問いに、多重内部反射赤外吸収分光法を用いて検討を進めた。その結果、Si系材料のTDMASはAl系材料のTMAの吸着した表面には吸着することができないことがわかり、TDMASを先に飽和させて、その後TMAを吸着させることにした。さらにTMAは先に吸着したTDMASを置換しながら吸着することがわかり、量の制御が必要であることがわかった。図4に、TDMASを導入して、TMAを後導入したときの、赤外吸収率スペクトルの変化を示す。TDMAS吸着時に炭化水素ピークとして2960、2875、2750 cm⁻¹が出現し、同分子が吸着したことを示すが、これにTMAを照射すると、これらピーク

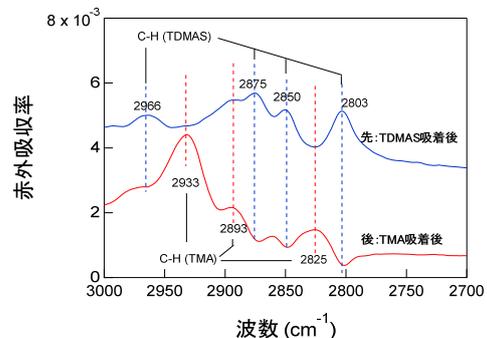


図4 トリスジメチルアミノシラン(TDMAS)を導入して、トリメチルアルミニウム(TMA)を後導入したときの、赤外吸収率スペクトルの変化。

クが減少し、TMA 由来の炭化水素ピークが現れ、置換吸着していることが分かった。これは、Si 系材料ガスの先導入の妥当性を示すものである。赤外吸収分光によるその場観察は複合酸化膜を形成するプロセスの開発をするのに有効であることが分かった。

② アルミニウムシリケートと SiO₂ 膜のナノ周期膜の試作とカチオン吸着膜への応用³⁾

ここでは、アルミニウムシリケートと SiO₂ 膜をナノ周期化することでカチオン吸着機能を高める試験を行った。カチオン吸着はアルミニウムシリケート中の負に帯電したアルミニウム原子が原因と考えられるが、帯電させるためには Al 原子周囲を SiO₂ で囲む必要がある。しかし一様原子比率の膜中であれば、Al 原子同士で隣合う確率はある一定程度あり、帯電した Al の量は制限されるはずである。ここでは、アルミニウムシリケートを 1 原子層程度にして、上下を SiO₂ 膜で挟むことによって、Al 同士の上下での隣接を抑制しカチオン吸着性を高めようとした。0.16nm 程度のアルミニウムシリケートを SiO₂ で 10 層形成した場合と、SiO₂ 無しのサンプルを作製し、NaCl 溶液浸漬により吸着された Na 吸着密度の評価を光電子分光で行った。その結果を図 5 に示す。アルミにシリケート自体の単位面積当たりの体積は同じであるが、ナノ周期化すると Na 吸着密度が 7 倍程度強化されることを示している。以上の実験結果は、酸化物薄膜を異種接合によりナノメートル程度で周期化することで物性機能を強化できる可能性を示すものである。

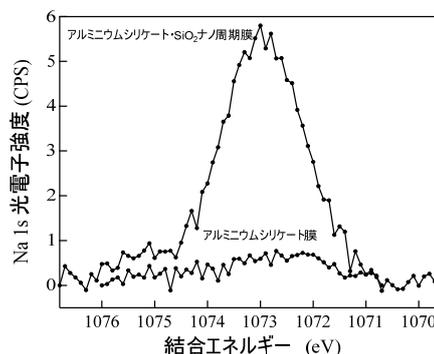


図 5 アルミニウムシリケート膜をナノ周期化したときのカチオン吸着特性への影響を光電子分光法で評価した結果

③ ナノ周期酸化膜によるガスバリア機能実証

酸化物薄膜はそれ自体が電氣的に不活性であり、酸素や水分を通しにくい材料、ガスバリア膜として電子デバイスの保護に使われる。しかし、ある程度膜厚が厚くなると、膜自身に転位や粒界が発生し、バリア性能が劣化する問題がある。ここでは、酸化アルミニウム膜と TiO₂ 膜でナノ周期構造膜を作製した。ここでは酸化アルミニウムで発生する転位を TiO₂ 膜で阻止することによって、迷路効果でバリア性能を高めることを考えた。実際に製膜した膜の断面 TEM 像を図 6 に示す。この膜を PEN フィルム上に製膜し、水蒸気ガスバリア特性を評価したところ、 $5.4 \times 10^{-3} \text{ g/m}^2\text{day}$ であった。この値は有機 EL の保護には足りないが、無機電子デバイスや太陽電池には活用できるレベルであると考えている。

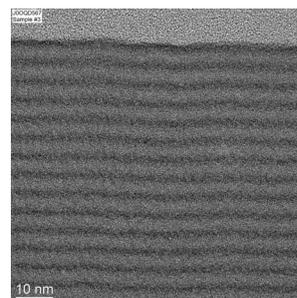


図 6 酸化アルミニウム(灰色部)と TiO₂(黒色部)のナノ周期膜。Si(100)基板上に製膜したもので、TiO₂がおおよそ 1nm、酸化アルミニウムがおおよそ 2nm の予定で製膜されたものである。

④ 室温原子層堆積法による結晶化検討⁴⁾

本研究を遂行する中で、様々な膜種を評価したが、酸化亜鉛膜は室温での製膜においても、顕著な結晶化を見出した。図 7 に室温製膜 ZnO の透過電子顕微鏡像を示す。この結果は、酸化亜鉛がアトミックリコンストラクション(原子再配列)の促進に使える可能性を示唆している。つまり、亜鉛を膜中にドーピングさせることで、結晶化を促進させる可能性を示唆するものと考えられる。Zn ドープで結晶制御をする試みは InGaZnO などの高移動度 TFT の製膜で用いられたが、室温堆積でそれを試すのは、まったくの未開拓であるが、本研究により結晶化促進のアイデアが得られたと考えている。

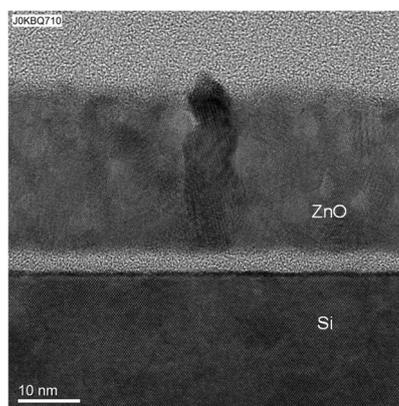


図 7 室温製膜 ZnO の TEM 像
膜中にモアレ縞がみえており、結晶化していることが伺われる。

引用文献

- 1) 特許 5761724 薄膜形成方法および装置 廣瀬文彦 出貝求
- 2) Y. Mori, K. Yoshida, K. Saito, M. Miura, K. Kanomata, B. Ahmmad, S. Kubota, F. Hirose, Journal of The Electrochemical Society, Vol.167, 137502(2020).
- 3) T. Saito, K. Yoshida, K. Saito, M. Miura, K. Kanomata, B. Ahmmad, S. Kubota, F. Hirose, Journal of Vacuum Science & Technology A, Vol.40, 042406(2022).
- 4) Kazuki Yoshida, Kentaro Saito, Keito Sogai, Masanori Miura, Kensaku Kanomata, Bashir Ahmmad, Shigeru Kubota, Fumihiko Hirose, IEICE transaction on Electronics, Vol.E104-C, 363(2021).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 9件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Y. Mori, K. Yoshida, K. Saito, M. Miura, K. Kanomata, B. Ahmmad, S. Kubota, F. Hirose	4. 巻 167
2. 論文標題 Room Temperature Atomic Layer Deposition of Aluminum Silicate and its Application to Na- and K-Ion Sorption	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of The Electrochemical Society	6. 最初と最後の頁 137502
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/1945-7111/abb4ab	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 該当する
1. 著者名 Kazuki Yoshida, Kentaro Tokoro, Kensaku Kanomata, Masanori Miura, Kentaro Saito, Bashir Ahmmad, Shigeru Kubota, Fumihiko Hirose	4. 巻 37
2. 論文標題 Room temperature atomic layer deposition of niobium oxide using plasma excited humidified argon and its application to anticorrosion to hydrochloric acid	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Vacuum Science and Technology A	6. 最初と最後の頁 60901
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1116/1.5116844	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 該当する
1. 著者名 Kazuki Yoshida, Kentaro Saito, Keito Sogai, Masanori Miura, Kensaku Kanomata, Bashir Ahmmad, Shigeru Kubota, Fumihiko Hirose	4. 巻 E104-C
2. 論文標題 Room temperature atomic layer deposition of nano crystallized ZnO and its application for flexible electronics	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEICE transaction on Electronics	6. 最初と最後の頁 363-369
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transele.2020ECP5034	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 該当する
1. 著者名 K. Sogai, K. Saito, K. Yoshida, M. Miura, K. Kanomata, B. Ahmmad, S. Kubota, and F. Hirose	4. 巻 10
2. 論文標題 Nanothick TiO ₂ channel thin film transistors for UV and gas sensing	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ECS journal of solid-state Science and Technology	6. 最初と最後の頁 65006
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/2162-8777/ac04fa	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 該当する

1. 著者名 K. Saito, K. Yoshida, M. Miura, K. Kanomata, B. Arima, S. Kubota, F. Hirose	4. 巻 E105-C
2. 論文標題 Low-Temperature Deposition of Yttrium Oxide on Flexible PET Films Using Time-Separated Yttrium Precursor and Oxidizer Injections	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEICE Transaction on Electronics	6. 最初と最後の頁 604-609
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transele.2021FUP0002	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 該当する

1. 著者名 K. Saito, K. Yoshida, M. Miura, K. Kanomata, B. Arima, S. Kubota, F. Hirose	4. 巻 E105-C
2. 論文標題 Low-temperature atomic layer deposition of AlN using trimethyl aluminum and plasma excited Ar diluted ammonia	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEICE Transaction on Electronics	6. 最初と最後の頁 596-603
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transele.2021FUP0001	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 該当する

1. 著者名 K. Yoshida, I. Nagata, K. Saito, M. Miura, K. Kanomata, B. Arima, S. Kubota, F. Hirose	4. 巻 A40
2. 論文標題 Room-temperature atomic layer deposition of Fe2O3 using plasma excited humidified argon	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Vacuum Science & Technology	6. 最初と最後の頁 22408
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1116/6.0001622	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 該当する

1. 著者名 T. Saito, K. Yoshida, K. Saito, M. Miura, K. Kanomata, B. Ahmad, S. Kubota, F. Hirose	4. 巻 A40
2. 論文標題 Multiple layers of aluminum silicate and silicon dioxide for enhanced cation sorption	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Vacuum Science & Technology	6. 最初と最後の頁 42406
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1116/6.0001908	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 該当する

1. 著者名 K. Saito, K. Yoshida, M. Miura, K. Kanomata, B. Ahmmad, S. Kubota, F. Hirose	4. 巻 A40
2. 論文標題 Moisture barrier coating of AlN and Al ₂ O ₃ multiple films prepared by low-temperature Atomic Layer Deposition	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Vacuum Science & Technology	6. 最初と最後の頁 62410
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1116/6.0002057	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 該当する

〔学会発表〕 計24件 (うち招待講演 8件 / うち国際学会 13件)

1. 発表者名 K. Yoshida, K. Saito, M. Miura, K. Kanomata, B. Ahmmad, S. Kubota, F. Hirose
2. 発表標題 Crystallized ZnO RT ALD and its application
3. 学会等名 Atomic Layer Deposition 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Saito, K. Yoshida, M. Miura, K. Kanomata, B. Ahmmad, S. Kubota, F. Hirose
2. 発表標題 Modelling of Low-Temperature Atomic Layer Deposition of Silicon Nitride using Plasma Excited Ammonia
3. 学会等名 Atomic Layer Deposition 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yoshiharu Mori&; Takeru Saito; Kentaro Saito; Kazuki Yoshida; Masanori Miura; Kensaku Kanomata; Bashir Ahmmad&; Shigeru Kubota; Fumihiko Hirose
2. 発表標題 RT Atomic Layer Deposition of Aluminum Silicate and its Application to Ion Sorption Surfaces,
3. 学会等名 Atomic Layer Deposition 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Sogai, K. Kikuchi, B. Ahmad, S. Kubota, F. Hirose
2. 発表標題 Operation mechanism of TiO ₂ nanochannel thin film transistor for UV and gas sensing
3. 学会等名 THE 8TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON SMART SYSTEMS ENGINEERING 2020 SMASYS2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 F. Hirose
2. 発表標題 RT Atomic Layer Deposition of Aluminum Silicate and its Application to Ion Sorption
3. 学会等名 11th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 F. Hirose
2. 発表標題 Room temperature atomic layer deposition and its application to gas barrier coating
3. 学会等名 7th International symposium on Organic and Inorganic Electronic Materials and Related nanotechnologies (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kentaro Saito; Kazuki Yosida; Kensaku Kanomata; Masanori Miura; Bashir Ahmad; Kubota Shigeru; Fumihiko Hirose
2. 発表標題 Low-temperature Atomic Layer Deposition of Yttrium Oxide using tris(butylcyclopentadienyl)yttrium and a Plasma-Excited Humidified Argon
3. 学会等名 Atomic Layer Deposition 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazuki Yoshida; Kentaro Saito; Masanori Miura; Kensaku Kanomata; Bashir Ahmmad; Shigeru Kubota; Fumihiko Hirose
2. 発表標題 High Acid Corrosion Resistance of Nb2O5 Thin Film Deposited by Room Temperature ALD
3. 学会等名 Atomic Layer Deposition 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshiharu Mori; Kazuki Yoshida; Kensaku Kanomata; Masanori Miura; Bashir Ahmmad Arima&; Shigeru Kubota; Fumihiko Hirose
2. 発表標題 Room-temperature Atomic Layer Deposition of Aluminosilicate Thin Film on Flexible Films
3. 学会等名 Atomic Layer Deposition 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 廣瀬文彦
2. 発表標題 室温原子層堆積法の開発とガスバリア応用
3. 学会等名 応用物理学会秋季学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Fumihiko Hirose
2. 発表標題 RT Atomic Layer Deposition of Aluminum Silicate and its Application to Ion Sorption
3. 学会等名 11th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Fumihiko Hirose
2. 発表標題 RT atomic layer deposition of aluminum silicate and SiO ₂ multiple layers for ion sorption
3. 学会等名 12th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Fumihiko Hirose
2. 発表標題 RT atomic layer deposition and its application
3. 学会等名 Micronanoprocess 2022, Tokushima (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kentaro Saito, Masanori Miura, Kensaku Kanomata, Bashir Ahmmad, Shigeru Kubota and Fumihiko Hirose
2. 発表標題 Low-temperature atomic layer deposition of AlN explained by infrared absorption spectroscopy
3. 学会等名 Micronanoprocess 2022, Tokushima (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Fumihiko Hirose
2. 発表標題 Nanothick metal oxide channel thin film transistors and their applications as gas and UV sensing
3. 学会等名 13th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 廣瀬文彦
2. 発表標題 室温原子層堆積法の開発とイオン交換吸着膜への応用
3. 学会等名 2020年化学工学会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 吉田 一樹、齋藤 健太郎、三浦 正範、鹿又 健作、廣瀬 文彦
2. 発表標題 水晶振動子質量測定によるNb2O5室温ALDの素反応評価
3. 学会等名 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 齋藤 健太郎、吉田 一樹、三浦 正範、鹿又 健作、有馬 ボシールアハンマド、久保田 繁、廣瀬 文彦
2. 発表標題 窒化アルミニウムの低温原子層堆積の表面反応モデル
3. 学会等名 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 廣瀬文彦
2. 発表標題 室温原子層堆積法の開発と微粒子コーティングへの応用
3. 学会等名 化学工学会CVD反応分科会 第33回シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 齋藤 尊、齋藤 健太郎、三浦 正範、鹿又 健作、廣瀬 文彦
2. 発表標題 室温原子層堆積法を用いたSiO ₂ / アルミニウムシリケート周期酸化膜の形成とイオン吸着性評価
3. 学会等名 第69回春季応用物理学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 齋藤 健太郎、吉田 一樹、三浦 正範、鹿又 健作、有馬 ボシールアハンマド、久保田 繁、廣瀬 文彦
2. 発表標題 低温原子層堆積法による窒化アルミニウムの試作と評価
3. 学会等名 第69回春季応用物理学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤 隆盛、齋藤 健太郎、鹿又 健作、田中 純一、山口 裕之、千葉 貴之、城戸 淳二、廣瀬 文彦
2. 発表標題 酸化アルミおよび酸化チタン多層膜を用いたガスバリアフィルム
3. 学会等名 第70回春季応用物理学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 宮澤 諒、齋藤 健太郎、鹿又 健作、廣瀬 文彦
2. 発表標題 アルミニウムシリケートを被膜した酸化チタン薄膜トランジスタのイオンセンサー応用
3. 学会等名 第70回春季応用物理学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 廣瀬 文彦、齋藤 尊、宮澤 諒、齋藤 健太郎
2. 発表標題 室温原子層堆積によるアルミニウムシリケートの紙繊維上形成
3. 学会等名 第70回春季応用物理学会
4. 発表年 2023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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------