

令和元年6月27日現在

機関番号：26402

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2015～2018

課題番号：15H05421

研究課題名(和文)原子レベル制御を可能とした次世代ミストCVDによる酸化物量子デバイス開発

研究課題名(英文)Development of next generation mist CVD enabling atomic level control & development of oxide quantum devices

研究代表者

川原村 敏幸 (Kawaharamura, Toshiyuki)

高知工科大学・システム工学群・教授

研究者番号：00512021

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 16,300,000円

研究成果の概要(和文)：気液混相のミスト流を扱うミストCVDは「気」と「液」両方を利用出来、気もしくは液のみの単相流を扱う従来手法に比べて原料供給に対する操作自由度が高い事に気がつき、「ミスト同士は容易にはぶつからない」ということを発見、反応炉内をミスト液滴がライデンフロスト状となっていることと合わせて、多元系機能膜の緻密な組成制御技術を達成させた。また、これにより大気圧下の溶液手法であるミストCVDで、Ga203系材料を世界で初めて光らせる事に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

我々の身の回りには様々な光・電子デバイスが存在する。現在それらのデバイスの多くは多岐に亘る要望に応えるため特性の高性能化が優先されており、真空などの特殊な環境が必要な機能膜作製技術や有毒物質・不安定材料などが利用され、環境への負荷が考慮されることは後回しにされがちである。本申請はデバイス作製技術の省エネ化や材料の安定性を担保しながら次世代に必要とされる量子デバイスの作製を可能とする技術の開発に焦点を当てている。

研究成果の概要(英文)：I have developed mist CVD, which is a thin film fabrication method using liquid droplets similar to spray pyrolysis and aerosol assisted CVD. In this budget, mist CVD had demonstrated its capability of accurately controlling thin film characteristics by the precise control of flow, which was made possible by focusing on the fact that the mist droplets were in the gas-liquid multiphase. Also, we succeeded in cathode-luminescence of Ga203 based materials fabricated by mist CVD, and it was a world first result.

研究分野：機能膜作製プロセス開発

キーワード：ミストCVD 機能膜 環境負荷低減 グリーンプロセス 金属酸化物 酸化物量子デバイス 酸化亜鉛 酸化ガリウム

1. 研究開始当初の背景

次世代デバイスとして、量子井戸(QW)やトポロジカル絶縁体(TI)等を含む量子デバイスの開発は活発である。既に実用された例として、量子井戸を用いた高効率な発光ダイオード(LED)等がある。ところで量子デバイスに用いられる材料には、有毒な物質や不安定な材料が利用される事がある。また量子デバイスの作製には、原子層レベルで成膜を制御しなければならず、これを達成させる技術として、分子線エピタキシー(MBE)[1]、有機金属化学気相成長(MOCVD)[2]、それらを組み合わせた方法[3]等の利用が現在主流である。現状量子デバイス作製に対して、「桁違いな環境負荷の低減」及び「安心・安全」を叶えるような事は不可能である。

○ プロセスの脱真空&低温化による桁違いな環境負荷の低減の必要性

量子デバイス等には、非常に高品質な機能薄膜が求められる。高品質な薄膜を作製するため基板温度を高温にし、原子のマイグレーション距離を増大させる。例えば MBE を用いて原子層レベルで制御された高品質な GaAs を作製する場合、600°C の高温が必要である。しかし 600°C でもマイグレーション距離は高々 10 nm 程で有り、低い温度で薄膜成長をすると結晶質が悪化する[4]。低温で高品質膜を作製する為、界面活性剤(ビスマス(Bi)等)を利用してマイグレーションを向上させる方法[5]等が提案されているが、いずれにせよ 400°C 程度の成膜温度が必要である。また真空も必要不可欠である。これは外乱(熱対流)や複雑な反応(副反応)を考える必要が無く設計通りの機能薄膜の作製が可能であるからである。そのため電子デバイス工場において、機能膜を形成するために加熱・冷却・真空に費やされるエネルギーは、工場の 50% にも至るエネルギーが必要であり、環境負荷が高い[6](図 1)。

○ 安心・安全の必要性

現在のナノエレクトロニクス材料には、毒物(As や Cd 等)や不安定材料が利用されており、安全対策や寿命対策が必要である。勿論化合物として安定ではあるが、その適用範囲は制限される。酸化物は最も安定な化合物の一つで有り、安全かつ信頼の高い材料である。また酸化物の励起子結合エネルギーは窒化物・硫化物等と比較して大きく、電子物性に関する期待も高い。

【ミスト化学気相成長(CVD)の可能性】

「ミスト(CVD)」(図 2)は、蒸気圧の低い安全かつ安定な原料を使用し、大気開放系での運転が可能で、環境負荷の小さい新進気鋭の機能薄膜作製手法である。これまで多くの酸化物薄膜作製の実績がある[7](図 4①)。開発に当たり、積極的に原料流と反応の制御を進めてきた。申請時、ミスト CVD では「超マイグレーション」と「高密度反応場」が実現している事を発見した[8]。加熱面に急激に近づいた液滴は、壁面からの熱により表面から蒸発し蒸気膜に覆われ蒸発が阻害されるライデンフロスト状態となる[9](図 7)。この状態の液滴は 10 μm 径の液滴でも 1 m に及ぶ長距離を移動でき[10]、この時、液滴から蒸気膜(局所的な高密度場)を通して原料成分は徐々に基板表面に拡散供給され、擬似的に基板上を動き回る。これが「超マイグレーション」と「高密度反応場」である。この現象を積極的に発現させるように調整したミスト CVD システムを用いて c 面サファイア(Al₂O₃)基板上に酸化ガリウム(Ga₂O₃)と酸化鉄(Fe₂O₃)の量子井戸(QW)の作製を試みたところ、見事成功した(14.02.26)(図 3)

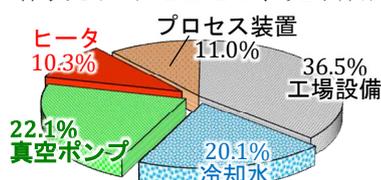


図1 2007年時における300 mm半導体工場での電力消費割合



図2 高知工科大学にあるミストCVDシステム。簡便な装置にもかかわらず、大気下で高均一・高品質な機能薄膜作製が可能。

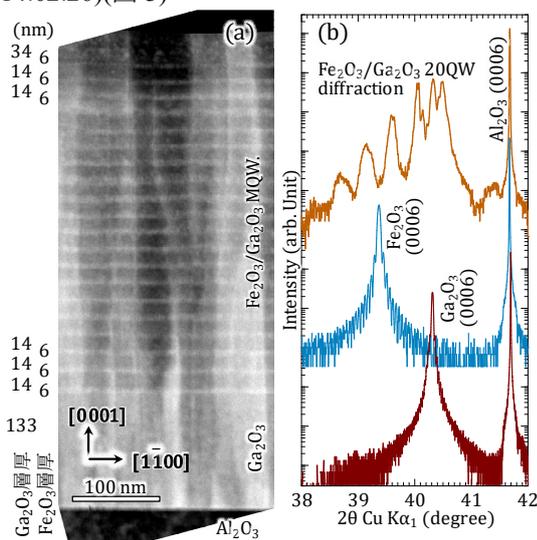
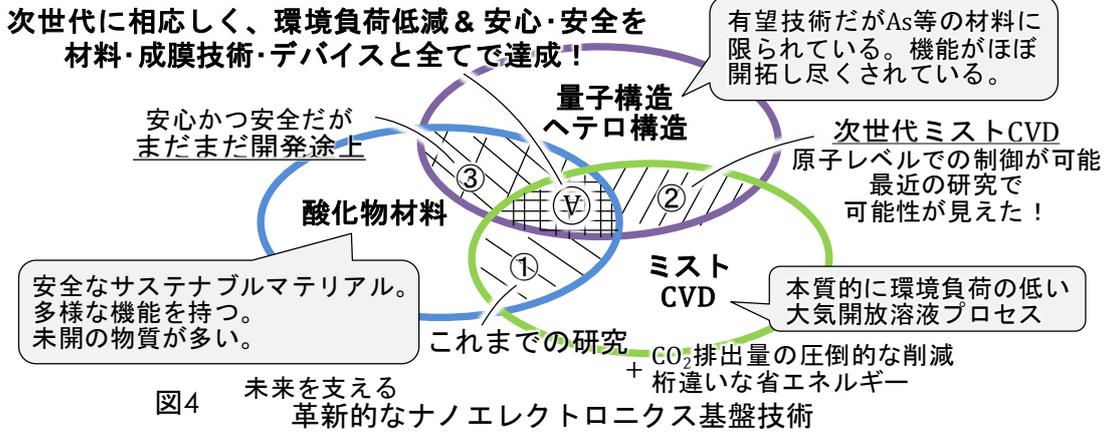


図3 c面サファイア(Al₂O₃)基板上に400°Cで作製したFe₂O₃/Ga₂O₃ 20QW。(a) 走査透過型電子顕微鏡(STEM)像、(b) X線回折測定結果。

[1] A.Y. Cho, Journal of Crystal Growth **111** (1991) 1. [2] K. Furuya, *et al.*, Int. J. High Speed Electronics **1** (1990) 347. [3] W.T. Tsang, J. Crystal Growth **105** (1990) 1. [4] S. Nagata, *et al.*, J. Appl. Phys. **48** (1977) 940 [5] M.R. Pillai, *et al.*, J. Vac. Sci. Technol. B **18** (2000) 1232 [6] T. Huang, Solid State Technol. **51** (2008) 30 [7] 川原村敏幸, 京都大学博士論文 2008.3. [8] T. Kawaharamura, Jpn. J. Appl. Phys. **53** (2014) 05FF08 [9] J. G. Leidenfrost, Duisburg on Rhine (1756) [in Latin] [10] B. S. Gottfried, *et al.*, Int. J. Heat Mass Transfer **9** (1966) 1167. [11] 藤田静雄, 応用物理, **82** (2013) 836. [12] J.W. Matthews, *et al.*, J. Crystal Growth **27** (1974) 118

2. 研究の目的

本研究課題では、今後ますます開発が進むであろう量子デバイスに関して、その作製手法として、超低環境負荷と安心を実現できるミスト CVD を量子デバイスを作製出来るほど高度な制御技術を有した「次世代ミスト CVD」に発展させ、その対象材料として、安心・安全な酸化物を用いた量子デバイスを達成させ、作製手法と材料の両面から未来を支える革新的なナノエレクトロニクスとして確立させる事を目的とした。具体的には、(A)酸化物の量子デバイスの開発(図 4③)を試み、反応メカニズムの解明・反応場雰囲気制御による(B)高度な反応制御技術の開発を目標とした。



3. 研究の方法

以下2相の研究を進め、最終的に低温化技術の開発を試み、更なる革新的技術構築の礎とする。

A. 酸化物量子デバイス作製への挑戦

1. 高品質なコランダム系薄膜の作製及び評価
2. 高品質な酸化亜鉛系薄膜の作製及び評価
3. 酸化物光量子デバイスの試作と評価

B. 高度な反応制御技術の挑戦的開発

1. 成長反応メカニズムの解明
2. 反応場雰囲気制御
3. 反応活性(低温化)技術の確立

A. 酸化物半導体の高品質化に関する従来研究を参考に、高品質酸化物薄膜作製を試み、量子井戸構造を形成し発光デバイス(酸化物量子デバイス)の試作を行う。

(1) 高品質なコランダム系薄膜の作製及び評価

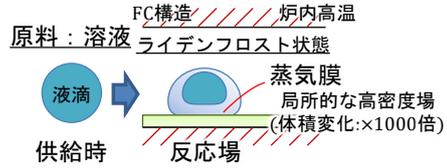
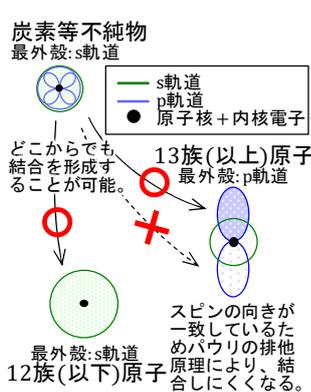
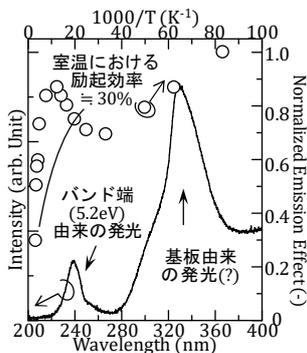
高品質な結晶を作製するには、下地、つまり基板が重要となる[11]。13族元素(Al, Ga, In)の酸化物は、現在汎用に用いられる基板(Si, SiO₂, Al₂O₃)の一つであるサファイア(Al₂O₃)と同じコランダム構造を有し、結晶作製時に欠陥の少ない高品質な薄膜の作製が期待できる。窒化物薄膜の作製に関する従来論文を参考に高品質な薄膜の成長条件を見いだす。また、理論値から計算される臨界膜厚[12]を参考に、歪みや欠陥の少ない薄膜の成長プロセスを追求する。

(2) 高品質な酸化亜鉛系薄膜の作製及び評価

比較の為、酸化亜鉛(ZnO)系量子井戸の形成を試みる。

(3) 光量子デバイスの試作と評価

実は調整したミスト CVD で作製した α -Ga₂O₃ 薄膜の光学特性を測定したところ、バンド端発光を確認した(141103)(図 5)。これまで証拠のなかった α -Ga₂O₃ 薄膜が直接遷移型半導体であることを決定づけた。また、室温での励起効率 \approx 30%程もあり、励起子束縛エネルギーが窒化物と比較大きいことが示唆されるが、未知なことだらけである。図 3 に示した量子井戸からの励起も確認されており、薄膜の高品質化による高効率発光を実現させると同時に酸化物の物性を明らかにする。



1. 反応炉に供給され急激に加熱された原料液滴はライデンフロスト状態*[9]となる。
* 壁面からの熱により表面から蒸発した蒸気に覆われ直接壁に付着せず浮遊し、蒸発速度が遅くなっている状態。
 2. 体積変化(液 \rightarrow 気)に伴う局所的な高密度場の実現。
 3. 反応場を溶媒雰囲気とすることも可。
- 図7 ミストCVDでは、反応場は液滴蒸発に伴い局所的な高密度反応場が実現している。

B. 軌道の最外殻が異なる 12 族と 13 族に着目し、特性と形成過程の関係について厳密に調べ、成長反応メカニズムを明かとする。ミスト CVD で達成される高密度反応場を利用した新たな反応場雰囲気制御技術を開発する。これらを踏まえ、高度な反応制御技術を構築する。

(1) 成長反応メカニズムの解明

成長膜の界面における格子歪み、伝導体バンドオフセット、界面準位密度などの評価を、容量電圧測定システムで評価する。歪みの形成サイトや量や構成などについては透過型電子顕微鏡(TEM)等を用いて評価する。一方、上述した 12 族化合物(Zn 等)と 13 族化合物(Ga 等)では作製した薄膜の特性が全く異なることがこれまでの研究で判明している。それは原子の軌道に依存していると考えられる(図 6)。形成された欠陥とこれらの関係を調べ、原子レベルでの反応メカニズムの解明を試みる。

(2) 反応場雰囲気の制御

反応場の雰囲気制御は反応の制御に最も重要である。液相反応では、溶媒を用いて溶質の酸解離定数(pKa)を変化させ生成物の反応を制御する方法がある。反応は気相、液相に関わらず本質的に同じである為、気相でも反応場の雰囲気制御は重要であるが、前述のような雰囲気制御は検討されず、一般には不活性ガスだけが利用される。一方ミスト CVD では、原料に溶媒を利用するため、反応場の雰囲気を溶媒雰囲気にすることが可能である(図 7)。これを利用して、溶媒種変更による反応場の酸解離定数(pKa)の制御の開発を試みる。また、ミストを利用した場合蒸発に伴う局所的な高密度場「高密度反応場」を実現でき、これらを組み合わせ従来には存在しない反応の制御技術の開発を試みる。

(3) 反応活性(低温)技術の確立

(1)より結合形成メカニズム、(2)より反応活性化メカニズムを見だし効果的な低温化技術の開発を進める。

4. 研究成果

[15 年度] A. 酸化物量子発光デバイス作製への挑戦

ミスト CVD で α -Ga₂O₃ 薄膜や Al, Fe, In 金属酸化物との積層及び混晶膜を作製し、光学特性を東北大学(秩父・小島先生)にて評価し始めた。一方、高品質な結晶膜作製の再現性がなかったり、膜中への不純物の混入が明らかとなり、装置構成や成膜条件を見直した。従来 0.7 mm 厚の基板を利用していたが、伝熱効率や機材節約を考え 0.3 mm 厚の基板に変更した。ところが 0.3 mm 厚の基板は研磨や加工時の負荷及び急激な熱変化に弱いのか基板の状態が安定しないようで、その上に形成する α -Ga₂O₃ 薄膜の結晶性にも影響しているようである。また XPS 測定によりミスト CVD で作製した薄膜中に含まれる不純物を調査したところ、装置に利用しているシリコーン樹脂の構成元素(Si)が大量に取り込まれていることが判明した。これらの結果からサファイア基板の厚みを 0.5 mm に変更し、装置も Si が混入しないような仕様に設計し直した。これらの成果の一部は、AWAD 2015(招待講演)、ICNSNT-2015、2015 MRS Fall Meeting & Exhibit にて報告した。加えて、以前から作製してきた Sn をドーブした α -Ga₂O₃ 薄膜を活性層に持つスウィッチング素子(MESFET)に関する論文を執筆した。

B. 高度な反応制御技術の挑戦的開発

ミスト CVD の従来手法とは異なる特殊な溶媒雰囲気反応場における反応過程を解明し、高度に反応を制御するための手段を確立することが目的である。本研究を遂行するため、溶媒を供給する為の小型のミスト噴霧器を設計・導入し、熱重量測定・示差熱分析(TG-DTA)装置を選定・導入した。また、TG-DTA の炉内を溶媒雰囲気にするためのミストガス流入治具を設計し導入した。比較のため、Air 中での出発原料の反応過程がどのようになっているかについて検証を進めた。

[16 年度] A. 酸化物量子発光デバイス作製への挑戦

15 年度に引き続きミスト CVD で作製した α -Ga₂O₃ 薄膜や Al, Fe, In 金属の酸化物との積層及び混晶膜の光学特性を東北大学にて評価した。 α -Ga₂O₃ は結晶性は非常に優れているにもかかわらずサファイア基板との大きな格子不整合のため 10¹¹ cm⁻² に至る多くの転移が発生しており、当時単膜を発光させるには至らなかった。そこで、格子不整合を緩和させるためバッファ層を導入し、さらに非発光因子へ電子が捕獲されることを抑制するために量子井戸(3[AlGaO/GaO]AlGaO/c-sapp.)を形成するという工夫をしたところ、深紫外領域(4.9 eV)からの発光を確認することに成功した(図 8)。また α -Ga₂O₃ 同様 α -In₂O₃ は欠陥由来の発光が主体的で、 α -Fe₂O₃ は発光しないことが判明した。

B. 高度な反応制御技術の挑戦的開発

ミスト同士の衝突までの時間を算出したところ、機能膜形成に至るまでの時間に比べ圧倒的に長いことが判明し複数成分の溶剤を別々に供給することにより複合反応を避けられるのではないかと予測された(図 9)。その事実を確認するための実験を行ったところ、複雑な反応を抑制できていることが示唆されるデータを得られた(図 10)。具体的には多元系混晶薄膜作製時の組成制御や機能膜の特性操作のためのドーピング、反応促進や特性向上のための支援剤の供給等に対応できる。また、反応と作製膜特性にどのような関連がみられるのかを調査するため典型的な金属酸化物薄膜の作製を行った。さらに溶媒を変更することにより反応を制御することができ、高品質な機能膜作製の指標を得られた。

[17年度] A. 酸化物量子デバイス作製への挑戦

16年度、量子井戸(3[AlGaO/GaO]AlGaO/c-sapp.)を形成したところ深紫外領域(4.9 eV)からの発光に成功したため、17年度は発光強度を増加させるにはどのようにするのが良いのか調査した。成膜条件や構造など複数の条件について調査してみたが顕著に発光強度が変化する条件を見出せなかった。一方表面状態を調査したところどのサンプルも表面荒さが数 nm 程度有り、量子井戸が面内で欠損していることが考えられた。またサンプル表面に円形の構造物が確認され、この数が多いほど発光強度が強い傾向があることが判明した。この円形構造物の形成メカニズムは現在調査中であるが、中心にある核が形成要因ではないかと考えている。この形成核は塩素分が多いことが調査の結果判明した。

B. 高度な反応制御技術の挑戦的開発

ミスト流を扱うミスト CVD では複雑な反応を抑制でき膜内組成制御に利点がある事を理論的に予測し、ZnMgO 薄膜の形成において実証した。またミスト CVD では反応場が溶媒雰囲気になっていることから不活性ガス雰囲気下での反応と異なる反応が進行していると考えられる。そこで溶媒雰囲気下で運転できるように改良した TG-DTA 装置を用い、さしあたって水蒸気雰囲気下で出発原料の反応過程がどのように変化するか調査したところ、水蒸気供給により酸化反応の温度が低下していることが見出された。また NH₃ 雰囲気下では熱分解及び酸化反応温度に変化がない兆候を確認した。

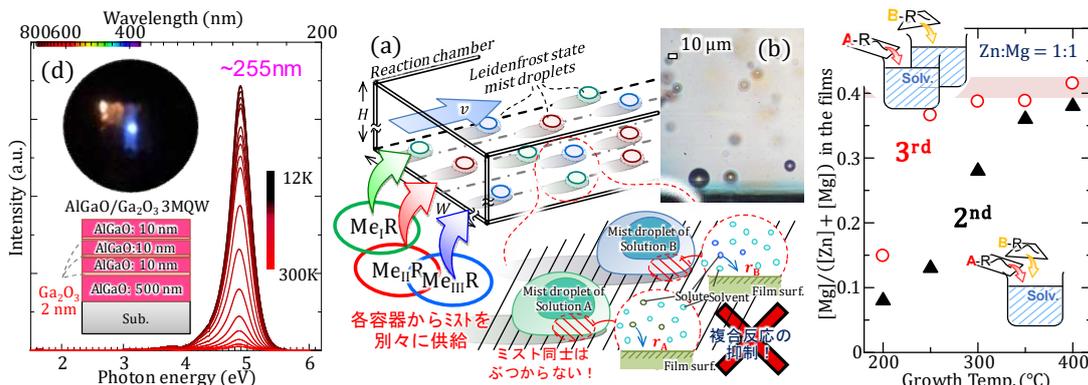


図8 酸化物量子井戸と世界で初めて達成させたα-Ga₂O₃の深紫外発光。

図9 (a) 気液混相流の自由度の高さを利用した組成制御技術の概念図。(b) 流路を流れるミスト液滴の実際の写真。

図10 新技術の例。従来技術と新技術で作製したZnMgO組成の温度依存。

[18年度] 基盤 B へ前もって応募

上述するように研究の中で、気液混相のミスト流を扱うミスト CVD は「気」と「液」両方を利用出来るため気もしくは液のみの単相流を扱う従来手法に比べて原料供給に対する操作自由度が高い事に気がつき、「ミスト同士は容易にはぶつからない」ということを発見、反応炉内をミスト液滴がライデンフロスト状となっている[T. Kawaharamura, JJAP 53 05FF08 (2014)]ことと合わせて、多元系機能膜の厳密な組成制御技術を達成させた[15th ICAM, C4-I29-002, 78th JSAP Autumn Meeting, 7a-C17-2](図 10)。これにより大気圧下の溶液手法であるミスト CVD で、Ga₂O₃ 系材料を世界で初めて光らせる事に成功した(図 8)[65th JSAP Spring Meeting, 17a-502-10]。以下発表論文はこれらの成果の賜である。しかしながら現行装置で作製したサンプルは図 3 からも分かるように 10¹¹ cm⁻²にも及ぶ転移欠陥があり、既存技術で作製された機能膜(良い物だと < 10⁶ cm⁻²)とは比べものにならないほど悪い。これは成膜条件の最適化に余地がある事他に、本学にある現行装置を用いての厳密な成膜制御に限界が生じているからであると考えている。本学の装置はあらゆる機能膜の形成に対応出来る様に研究代表者が過去に設計・導入(2011.03.11)したものであり、実験毎に装置を組み立て原料供給量や時間管理をほぼ手動で操作している。そこで酸化ガリウム系機能膜を高品質に作製出来、ドーピングや組成制御を可能とする、新装置を導入し早い段階での技術開発の達成を目指し、前年度応募を行ったところ見事採択された。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 10 件) 全て査読有 その他 7 件

- ① Phimolphan Rutthongjan, Li Liu, Misaki Nishi, Masahito Sakamoto, Shota Sato, Ellawala Kankanamge Chandima Pradeep, Giang Thai Dang, Toshiyuki Kawaharamura, "Composition control of Zn_{1-x}Mg_xO thin films grown using mist chemical vapor deposition", Japanese Journal of Applied Physics, Vol.58 (2019) 035503 (10.7567/1347-4065/aafd18)
- ② Li Liu, Toshiyuki Kawaharamura, Dang Thai Giang, Ellawala Kankanamge Chandima Pradeep, Shota Sato, Takayuki Uchida, Shizuo Fujita, Takahiro Hiramatsu, Hiroshi Kobayashi, Hiroyuki Orita, "Study on fabrication of conductive antimony doped tin oxide thin films (SnO_x:Sb) by 3rd generation mist chemical vapor deposition", Japanese Journal of Applied Physics, Vol.58 (2019) 025502 (10.7567/1347-4065/aaf4b6)
- ③ Giang T. Dang, Yuta Suwa, Masahito Sakamoto, Li Liu, Phimolphan Rutthongjan, Shota Sato, Tatsuya Yasuoka, Ryo Hasegawa, Toshiyuki Kawaharamura, "Growth of α-Cr₂O₃ single crystals by

mist CVD using ammonium dichromate”, Appl. Phys. Express Vol.11 (2018) 111101 (10.7567/APEX.11.111101)

- ④ G. T. Dang, T. Yasuoka, Y. Tagashira, T. Tadokoro, W. Theiss, T. Kawaharamura, “Bandgap engineering of α -(Al_xGa_{1-x})₂O₃ by a mist chemical vapor deposition two-chamber system and verification of Vegard's Law”, Appl. Phys. Lett. Vol.113 (2018) 062102 (10.1063/1.5037678)
- ⑤ G. T. Dang, T. Kawaharamura, M. Furuta, and M. W. Allen, “Zinc tin oxide metal semiconductor field effect transistors and their improvement under negative bias (illumination) temperature stress”, Appl. Phys. Lett., Vol.110 (2017) 073502, (10.1063/1.4976196)
- ⑥ Li Liu, Yuta Suwa, Shota Sato, Yoshiaki Nakasone, Misaki Nishi, Giang T. Dang, Ellawala K. C. Pradeep, and Toshiyuki Kawaharamura, “Incorporation of yttrium to yttrium iron garnet thin films fabricated by mist CVD”, Jpn. J. Appl. Phys., Vol.56 (2017) 04CJ02 (10.7567/JJAP.56.04CJ02)
- ⑦ Toshiyuki Kawaharamura, Giang T. Dang, Noriko Nitta, “Atmospheric-Pressure Epitaxial Growth Technique of a Multiple Quantum Well by Mist Chemical Vapor Deposition based on Leidenfrost droplets”, Appl. Phys. Lett., Vol.109 (2016) 151603, (10.1063/1.4964647)
- ⑧ Giang T. Dang, Takayuki Uchida, Toshiyuki Kawaharamura, Mamoru Furuta, Adam R. Hyndman, Rodrigo Martinez, Shizuo Fujita, Roger J. Reeves, Martin W. Allen, “Silver Oxide Schottky Contacts and Metal Semiconductor Field-Effect Transistors on SnO₂ thin films”, Applied Physics Express, Vol.9 (2016) 041101, (10.7567/APEX.9.041101)
- ⑨ Shirahata Takahiro, Kawaharamura Toshiyuki, Fujita Shizuo, Orita Hiroyuki, “Transparent conductive zinc-oxide-based films grown at low temperature by mist chemical vapor deposition”, Thin Solid Films, Vol.597 (2015) pp.30-38 (10.1016/j.tsf.2015.11.006)
- ⑩ Xiaodan Zhu, Toshiyuki Kawaharamura, Adam Z Stieg, Chandan Biswas, Lu Li, Zhu Ma, Mark A. Zurbuchen, Qibing Pei, Kang L Wang, “Atmospheric and Aqueous Deposition of Polycrystalline Metal Oxides Using Mist-CVD for Highly Efficient Inverted Polymer Solar Cells”, Nano Letters, Vol.15 (2015) 4948-4954 (10.1021/acs.nanolett.5b01157)

[学会発表] (計 6 件) 招待講演のみ記載。その他計 54 件(国際学会 19 件、国内学会 35 件)

- ① T. Kawaharamura, G.T. Dang, L. Liu, E.K.C. Pradeep, Y. Suwa, S. Sato, Y. Nakasone, S. Yamaoki, M. Nishi, Y. Kobayashi, M. Sakamoto, P. Rutthongjan, “Development of composition control technology for alloy thin film in equilibrium reaction process”, the 15th International Conference on Advanced Materials (IUMRS-ICAM 2017), (Aug. 27-Sep. 1, 2017), C4-I29-002, (Oral, 29, 09:20-09:40)
- ② 川原村 敏幸, G.T. Dang, 須和 祐太, 佐藤 翔太, 松崎 俊祐, 「ミストを用いた大気圧下で大面積に亘り高品質な機能薄膜を作製する技術の開発」, 化学工学会 第 48 回秋季大会 (2016 年 9 月 6-8 日), ST-17, M106, (6 日, Invited Oral, 10:40-11:00)
- ③ T. Kawaharamura, “Development of Innovative Atmospheric-Pressure Epitaxial Growth Technique “Mist Chemical Vapor Deposition” based on Leidenfrost state droplets”, Gloval Forum on Advanced Materials and Technologies for Sustainable Development 2016, (June 26-July 1, 2016), G8-015-2016, (Oral, June 28, 16:30-17:00)
- ④ 川原村 敏幸, 「大気圧下における高品質薄膜作製のための高度制御技術」, エネルギー・環境新技術先導プログラム「高品質/高均質薄膜を実現する非真空成膜プロセスの研究開発」シンポジウム ～ミストデポジション法の科学と応用～, 京都リサーチパーク, 京都市, 京都, (2016 年 1 月 18 日, Oral, 13:50-14:30)
- ⑤ 川原村 敏幸, 第 37 回応用物理学会論文奨励賞 受賞記念講演, 「Physics on development of open-air atmospheric pressure thin film fabrication technique using mist droplets: Control of precursor flow」, 第 76 回応用物理学会秋季学術講演会 (2015 年 9 月 13-16 日), 合同セッション K, 15a-1B-1, (15 日, Oral, 09:00-09:15)
- ⑥ Toshiyuki Kawaharamura, Giang T. Dang, Takayuki Uchida, Mamoru Furuta, Noriko Nitta, Tadahiro Kaida, Yuta Suwa, Munetaka Tatsuda, Martin W. Allen, and Shizuo Fujita, “Fabrication of Functional Thin Films and Electrical Devices by Mist CVD Equipping Highly Accurate Flow Control Technology under Atmospheric Pressure”, 2015 Asia-Pacific Workshop on Fundamentals and Applications of Advanced Semiconductor Devices (AWAD 2015) (June 30-July 2, 2015), 7B-1, (Oral, June 30, 08:45-09:15)

[図書] (計 0 件) 特になし。

[産業財産権] ○出願状況 (計 6 件) 1 件記載

名称: 深紫外発光素子およびその製造方法

発明者: 川原村 敏幸, 鄧 太 江(ダン, タイ ジャン), 須和 祐太, 小島 一信, 秩父 重英

権利者: 高知県公立大学法人

種類: 特許願

番号: 2017-152055

出願年: 2017.08.04

[その他] ホームページ等 <http://www.nano.kochi-tech.ac.jp/tosiyuki/>