

令和 3 年 6 月 8 日現在

機関番号：17102

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2019～2020

課題番号：19K21978

研究課題名（和文）エキシトンが情報を伝達し記憶する革新的古典／量子デバイスの創製

研究課題名（英文）Fabrication of novel quantum/classical devices based on excitons

研究代表者

板垣 奈穂（Itagaki, Naho）

九州大学・システム情報科学研究所・教授

研究者番号：60579100

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、エキシトンを情報担体とした革新デバイスを創製することを目的とした。オリジナル材料ZIONが有する高いエキシトン束縛エネルギーとピエゾ効果を、代表者が考案した逆Straniski-Krastanovモードを用いた高品質結晶成長技術により発現させ、デバイスの室温動作に欠かせない、高温・長寿命エキシトンの実現を試みた。その結果、ZIONエキシトントランジスタにおいてゲートへの光照射によるスイッチング@室温に成功した。現在、電圧印加によるスイッチングの実現を目指すとともに、エキシトン発光におけるRabi振動の観測を通して、量子状態の保存と破壊の機構の詳細を解明中である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、代表者オリジナルのシーズ技術を背景に、エキシトンを情報担体に進化させ、革新的古典／量子デバイスの創製を目指したものである。エキシトンを「電子・正孔が再結合する過程（=中間状態）としての準粒子」として扱い、受発光を伴うその生成と消滅に着目した物性説明・工学的応用を行ってきたこれまでのエキシトン研究を転換させる点で、学術的意義を有する。本研究は、新学術分野「エキシトニクス」の創成という学術的新規性に加え、古典／量子デバイスを利用した情報通信ネットワークの高度化への寄与等、実用的観点からも意義を有する。

研究成果の概要（英文）：We developed new semiconducting materials,  $(\text{ZnO})_x(\text{InN})_{1-x}$  (hereafter called ZION) for exciton transistors, synthesized by sputter epitaxy. The large exciton binding energy enables excitonic devices that are operational at room temperature. The large piezoelectric constant enhances the spatial separation of electrons and holes in quantum wells and thus elongates exciton lifetime. Fabrication of single crystalline ZION films, however, has been challenging because no bulk crystals of ZION exist. In this project, we succeeded in the growth of world's first single crystalline ZION on 18%-lattice-mismatched sapphire substrate, in which the films grew in a new mode of heteroepitaxy, "inverse Straniski-Krastanov mode", where high-density three dimensional (3D) islands initially form and two-dimensional (2D) layers subsequently grow on the 3D islands. Furthermore, we succeeded in optical switching of exciton transistors with ZION/ZnO QWs.

研究分野：電子材料，プラズマエレクトロニクス

キーワード：酸化物半導体 スパッタリング 量子構造 エキシトン

## 1. 研究開始当初の背景

「光配線」を LSI 内に導入する動きが始まっている。電気配線では高速化とともに伝送損失が増大することに加え、LSI の微細化に伴い、配線抵抗・配線間容量による信号遅延や電力消費が無視出来なくなっているためである。伝送損失の小さい光配線に置き換えることで、2 桁の高速化と 2 桁の低消費電力化が可能になる。LSI において、演算・記憶は電子回路により行われるため、光配線化のためには電気信号(E)を光信号(O)に変換する必要がある。しかし従来の E/O 変換では、集積度と動作速度がトレードオフの関係にあり、LSI 内の光通信に対応した E/O 変換デバイスの開発が急務となっている。

そこで注目されているのが、半導体量子井戸内に生成されたエキシトンをキャリアとする新しい原理の E/O 変換デバイスである。エキシトンとは、電子と正孔がクーロン相互作用で結合した準粒子である。エキシトントランジスタでは、光励起により生成したエキシトンをソース領域からドレイン領域に輸送し、その流れをゲート電圧によりスイッチングする。最終的には、ドレイン領域でのエキシトン再結合により光として信号出力を行う。既存の E/O 変換器では不可能であった小型化と高速化の同時達成が可能となるため、LSI 内光配線化のブレークスルーをもたらすと期待される。しかし従来報告のエキシトントランジスタは、i)エキシトン束縛エネルギーが低く、125 K 以下でしか動作しない、ii)エキシトン再結合確率が高く、多くのキャリアがドレインに到達する前に消滅する、という課題があり、実用化の目途は立っていない。

このエキシトンは、量子ビットとしても注目されている。量子ビットとしては、現在、超伝導素子やイオントラップ型の開発が主流であるが、集積性やコヒーレンス時間(量子力学的な重ね合わせ状態が持続する時間の長さ)などに課題があり、デファクトスタンダードは定まっていない。大規模集積化から遡って量子ビットの候補を考えたとき、ゲート操作に相互干渉性の低い光が使えるエキシトン量子ビットのメリットは大きい。量子ビットにとって必要な条件は、「0」と「1」の量子力学的重ね合わせ状態を保持できることであり、エキシトン量子ビットの場合、この 2 準位は量子井戸内に基底状態のエキシトンが「ある」状態と「ない」状態に対応する。エキシトン量子ビットに励起子エネルギーに共鳴する光を照射すると、この 2 準位間でラビ振動とよばれるコヒーレントな振動を繰り返すが、これが量子ゲート操作を可能にする重要な光学過程となっている。つまり、「光」によるゲート操作が可能であり、集積化の点で圧倒的に有利である。しかし従来のエキシトンでは「長いコヒーレンス時間」と「高い制御性」の両立が本質的に不可能であり、これが量子ビットとしての実用化を妨げている。エキシトンには、光学遷移が許容された明るいエキシトンと、光学遷移が禁止された暗いエキシトンの 2 種類があるが、それぞれ寿命と制御性に致命的課題を抱えているからである、

## 2. 研究の目的

本研究は、「電子 - 正孔が再結合する過程 (=中間状態)としての準粒子」として扱われてきたエキシトンを「情報担体」として進化させ、その伝導および記憶を利用した革新的古典 / 量子デバイスの創製を目指すものである。エキシトンは、電子 - 正孔がクーロン相互作用で結合した準粒子であり、これまで主に、受発光を伴うその生成と消滅に着目した物性解明と工学的応用が行われてきた。しかし、室温でも安定して長時間存在するエキシトンが実現すれば、エキシトンそのものが情報を伝達し記憶する、かつて無い情報処理デバイスの創製が可能となる。それらは、光との速いインタラクションと、電子デバイス並みの高い集積性を併せ持ち、光・電子集積回路

や、室温汎用量子コンピュータの実現を可能にする。本研究では、代表者オリジナル材料である  $(\text{ZnO})_x(\text{InN})_{1-x}$  (以下 ZION) を用いて、上記デバイスの鍵となる「室温・長寿命エキシトン」を無機材料で実現する。これにより、エキシトンをキャリアとする新概念トランジスタや、高い制御性と長いコヒーレンス時間、室温動作安定性を兼ね揃えたエキシトン量子ビットを実現する。本研究は、LSI の高速化・低消費電力化につながるものであり、将来的にはエキシトンを量子ビットとみなした量子コンピュータへの展開を可能にする。

### 3. 研究の方法

本研究では、代表者オリジナルのシーズ技術を背景に、エキシトンを情報担体とした二つの革新的古典/量子デバイスの創製を目指す。まずは、オリジナル材料「ZION」を用いて量子井戸を作製し、室温・長寿命エキシトンの実現を試みる。ZION は ZnO と InN の擬 2 元型混晶であり、その組成制御により、可視光全域-近赤外でバンドギャップのチューニングが可能である(板垣他, 特許 5213507 号, US8274078 等)。無機材料でありながら 30–60 meV の高いエキシトン束縛エネルギーを有するため、室温 (25 meV) でのエキシトン生成が可能になる。またエキシトン生成のためには電子-正孔を量子井戸に閉じ込める必要があるが、その際、それらの波動関数が重なると再結合が生じ、エキシトンが消滅する。そこで本研究では ZION の強い圧電性 ( $e_{33} \sim 1 \text{ C/m}^2$ ) を利用して歪み量子井戸を形成し、大きなピエゾ電界 ( $\sim \text{MV/cm}$ ) を発現させる。これにより、電子・正孔の波動関数を同一井戸内において空間的に分離し、「ナノ秒 からマイクロ秒 へ」の長寿命化を達成する。このとき、高精度フラックス制御スパッタを用いて、化学量論組成  $(\text{ZnO})_x(\text{InN})_{1-x}$  を有する量子井戸を実現する。化学量論比からのずれは残留キャリアを発生させるとともに、キャリアの散乱中心ならびにエキシトンの非輻射再結合中心となる点欠陥を誘起するためである。本研究では気相中でのラジカル精密制御に加え、エピタキシャル基板のモフォロジーや極性等の条件を最適化することで、ZION の超高品質成膜を実現する。

次に、上記で得た ZAIION 歪量子井戸を用いて励起子トランジスタを作製し、室温動作を実証する。具体的には、ソース(S)にレーザーをスポット照射することで励起子を生成し、ソース・ゲート(G)・ドレイン(D)への電圧印加によりその輸送を制御する。また、ZION 歪量子井戸内のエキシトンについて、量子状態の保存と破壊の機構を Rabi 振動 (コヒーレント光が照射された量子状態が光の吸収と放出を繰り返す現象) の観測を通して解明する。

### 4. 研究成果

高精度フラックス制御スパッタを用いることで、ZnO テンプレート上への ZION 膜のコヒー

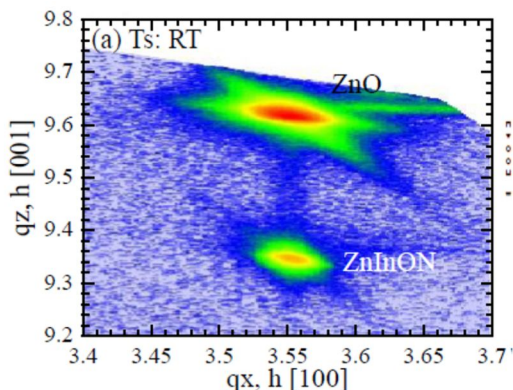


図 1. ZnO 基板の上にコヒーレント成長させた ZION 膜の(105)面近傍逆格子マップ。

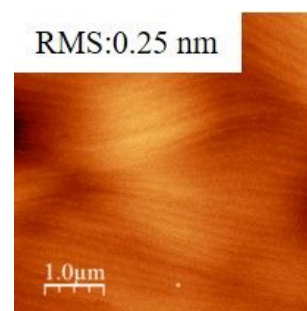


図 2. ZnO 基板の上にコヒーレント成長させた ZION 膜の表面 AFM 像。

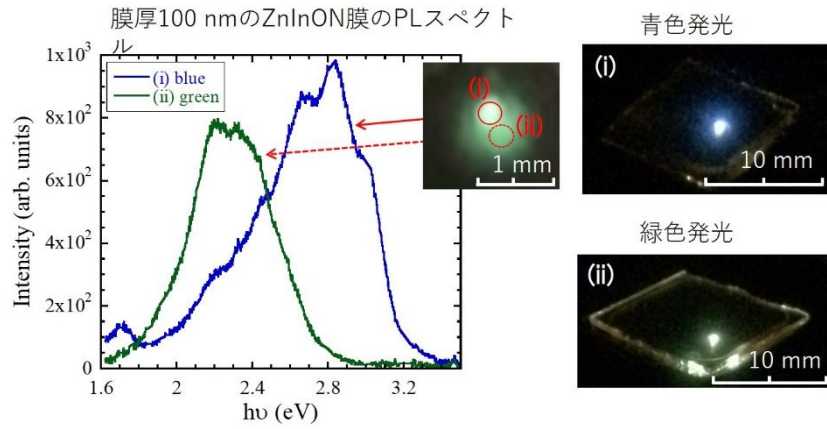


図 3. ZnO 基板の上にコヒーレント成長させた ZION 膜の PL スペクトル。

レント成長に成功した．図 1 および図 2 にそれぞれ，室温で成膜した厚さ 100 nm の ZION 膜の (105)面近傍逆格子マップと表面原子間力顕微鏡 (AFM) 像を示す．この時，ZION 膜は RF マグネトロンスパッタリング法により作製し，スパッタリングガスには Ar, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> ガスを用いている (全圧 0.3 Pa)．図 1 から，ZION 膜の a 軸の格子定数が ZnO 基板の a 軸と一致し，ZION 膜が ZnO 基板に対してコヒーレント成長していることが分かる．また図 2 の AFM 像においてステップテラス構造が観測され，二乗平均平方根 (RMS) 粗さも 0.25 nm と小さいことから，原子平坦面が形成されていることが確認された．次に，この ZION 膜についてフォトルミネッセンス (PL) 測定を行った．図 2 に得られた PL スペクトルを示す．組成に応じて，緑色もしくは青色発光が観測された．なお，ZnO 基板に対してコヒーレント成長せず，島状に成長した ZION 膜からはフォトルミネッセンスは観測されなかった．この時，コヒーレント成長していない ZION 膜では刃状転位密度が 10<sup>9</sup>cm<sup>-2</sup> と大きく，非輻射再結合中心となる欠陥密度が多数生成されていたことが PL が観測されなかった主な原因と考えられる．

次に，ZnO に対してコヒーレント成長させた ZION 膜を井戸層とした歪量子井戸を形成し，光照射によるエキシトン生成を試みた．また，制御光を重畳することによるエキシトン流のスイッチングを試みた．この時の量子井戸構造を図 4 に示す．ZION を井戸層，ZnO を障壁層とした 7 層の量子井戸を作製した．基板には c 面サファイア基板上に作製した単結晶の ZnO テンプレートを用い，基板温度は室温とした．ZION 井戸層の作製には，スパッタリングガスに Ar, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> ガスを用い，ガス圧は 0.3 Pa とした．井戸層の膜厚は 6 nm とした．ZnO 障壁層の作製には，スパッタリングガスに Ar, O<sub>2</sub> ガスを用い，ガス圧は 0.7 Pa とした．障壁層の膜厚は 10 nm とした．

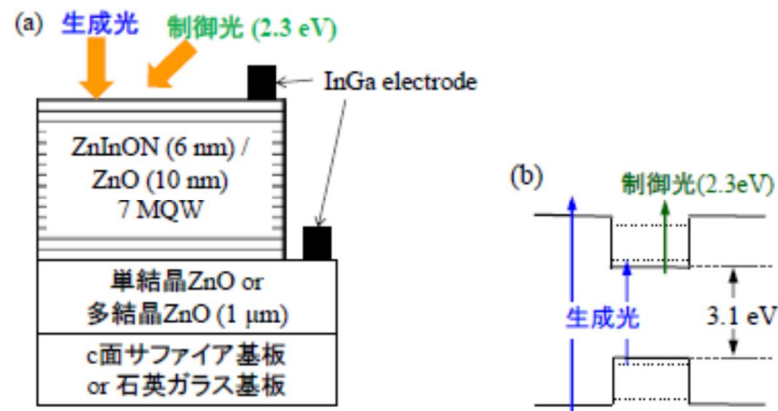


図 4. (a) ZION/ZnO 歪量子井戸構造の概略図，(b) エキシトン生成光，制御光と井戸層バンドギャップの関係．

まず、ZION井戸層の結晶性を評価した。図5にZION膜の(002)面2θ - スペクトルおよびロックングカーブを示す。2θ = 33.7°および34.4°において観測されたピークはそれぞれ、ZION(002)面およびZnO(002)面からの回折ピークである。また、ZION膜の(002)面ロックングカーブの半値幅は0.09°と小さく、優れた面外配向性を有することが分かった。

次に、ZION/ZnO歪量子井戸にエキシトン生成光として疑似太陽光、制御光としてダイオード励起固体レーザーを照射し、電流-電圧特性を評価した。また比較としてZION井戸層がZnO層に対してコヒーレント成長していない無歪量子井戸を作製し、電流-電圧特性を評価した結果も示している。まず、疑似太陽光を照射することで、量子井戸の導電率が向上し、光吸収により光励起キャリアが生成されることが分かった。また、それぞれの量子井戸にZION井戸層のバンドギャップ(3.1 eV)よりエネルギーの小さい制御光(2.3 eV)のみ照射した場合、光吸収は確認できなかった。さらに、生成光と制御光を重畳照射した場合、歪の有無による大きな変化が観測された。無歪量子井戸では制御光を吸収できないため、生成光と重畳照射した場合と生成光のみを照射した場合の変化は確認できなかった。一方、歪量子井戸に生成光と制御光を重畳照射した場合、生成光のみを照射した場合と比較して1.8倍の光電流が観測された。これは2光子吸収によるものと考えられる。一般的に、量子井戸層では電子と正孔の波動関数の重なりが大きく、光キャリアの寿命は数ピコ秒と短いため、2光子吸収は発生しない。しかし、歪量子井戸構造では井戸層に0.89 MV/cmのピエゾ電界が発生していると考えられる。そこでシミュレーションソフトSiLENSeを用いて、キャリアの寿命を算出した。その結果、歪量子井戸構造の井戸層でのキャリアの再結合レートは $10^8 \text{ cm}^{-3} \text{ s}^{-1}$ と小さく、キャリア寿命は $2.5 \times 10^{-8} \text{ s}$ となることが分かった。このキャリア寿命は無歪量子井戸構造と比較すると約80倍の長さである。このピエゾ電界による長寿命化の結果、太陽光により井戸層で励起されたキャリアが再結合する前にレーザー光により障壁層に励起され、光電流が1.8倍に増加したと考えられる。

これらの結果は、(i)井戸層内に光生成キャリアが高濃度に存在すること、(ii)井戸層内の光生成キャリアを、光重畳により障壁層に励起できることを示しており、ピエゾ電界はエキシトンの再結合を抑制し、エキシトン流の光変調を可能にすることを意味している。従って、上記の歪量子井戸を用いることで、室温動作かつ全光制御可能なエキシトントランジスタが実現するものと期待される。現在、電圧印加によるスイッチングの実現を目指すとともに、エキシトン発光におけるRabi振動の観測を通して、量子状態の保存と破壊の機構の詳細を解明中である。

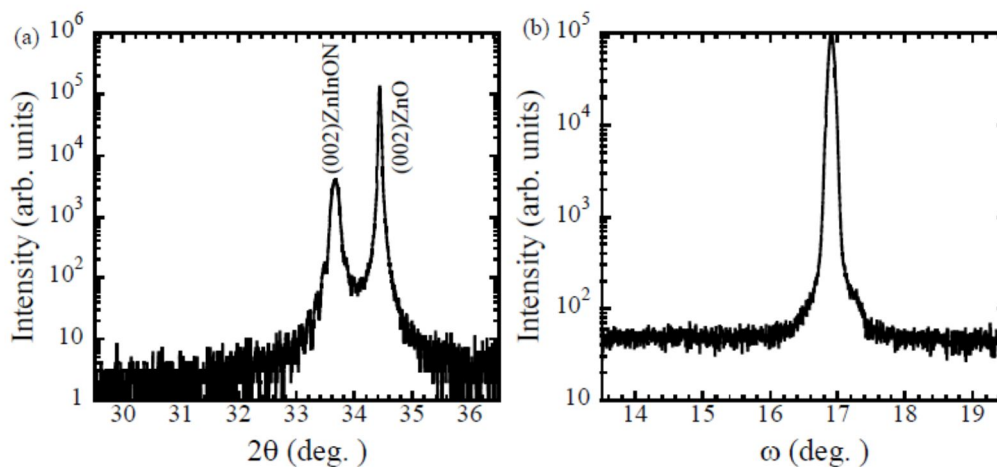


図5. ZION膜の(002)面2θ - スペクトル(a)とロックングカーブ(b)。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 5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 Itagaki Naho, Nakamura Yuta, Narishige Ryota, Takeda Keigo, Kamataki Kunihiro, Koga Kazunori, Hori Masaru, Shiratani Masaharu	4. 巻 10
2. 論文標題 Growth of single crystalline films on lattice-mismatched substrates through 3D to 2D mode transition	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 4669
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-020-61596-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 Suhariadi Iping, Itagaki Naho, Shiratani Masaharu	4. 巻 3
2. 論文標題 Improved Nanoscale Al-Doped ZnO with a ZnO Buffer Layer Fabricated by Nitrogen-Mediated Crystallization for Flexible Optoelectronic Devices	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Applied Nano Materials	6. 最初と最後の頁 2480 ~ 2490
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acsnm.9b02571	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 K. Imoto, H. Wang, D. Yamashita, H. Seo, K. Koga, M. Shiratani, N. Itagaki	4. 巻 -
2. 論文標題 Room-temperature fabrication of amorphous In <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :Sn films with high electron mobility via nitrogen mediated amorphization	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Phys. Conf. Ser.	6. 最初と最後の頁 -
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 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. Muraoka, D. Yamashita, K. Kamataki, K. Koga, M. Shiratani, N. Itagaki	4. 巻 なし
2. 論文標題 Fabrication of low resistive amorphous In <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :Sn films using impurity mediate amorphization method: Effects of substrate temperature	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. 41st International Symposium on Dry Process	6. 最初と最後の頁 P-41
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 Narishige Ryota, Kaneshima Kentaro, Yamashita Daisuke, Kamataki Kunihiro, Koga Kazunori, Shiratani Masaharu, Itagaki Naho	4. 巻 60
2. 論文標題 Impact of surface morphologies of substrates on the epitaxial growth of magnetron-sputtered (ZnO) x (InN)1-x films	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SAAB02 ~ SAAB02
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/abba0c	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 R. Narishige, N. Itagaki, M. Shiratani	4. 巻 -
2. 論文標題 Sputtering Growth of Metal Oxynitride Semiconductors for Excitonic Devices	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proc. 5th IEEE Electron Devices Technology & Manufacturing Conference	6. 最初と最後の頁 -
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 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32件 (うち招待講演 10件 / うち国際学会 23件)

1. 発表者名 N. Itagaki, K. Kamataki, K. Koga, M. Shiratani
2. 発表標題 Sputtering Deposition with Impurities: Another Key Parameter to Control Film Structures
3. 学会等名 Materials Research Meeting 2019 (MRM2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 N. Itagaki, K. Kamataki, K. Koga, M. Shiratani
2. 発表標題 ZnO Based Semiconductors for Excitonic Devices
3. 学会等名 Materials Research Meeting 2019 (MRM2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 K. Kamataki, R. Iwamoto, S. Okunaga, S. Muraoka, D. Yamashita, N. Itagaki, K. Koga, M. Shiratani
2 . 発表標題 Developing Prediction of Amorphization Condition Models from Sputter Deposition Experimental Results by Machine Learning Method
3 . 学会等名 Materials Research Meeting 2019 (MRM2019) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 R. Iwamoto, S. Okunaga, S. Muraoka, D. Yamashita, K. Kamataki, N. Itagaki, K. Koga, M. Shiratani
2 . 発表標題 Tuning Parameters of Indium Tin Oxide Sputter Processing via Bayesian Optimization
3 . 学会等名 20th Workshop on Fine Particle Plasmas (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 R. Narishige, N. Miyahara, K. Kaneshima, D. Yamashita, K. Kamataki, K. Koga, M. Shiratani, N. Itagaki
2 . 発表標題 Sputter Epitaxy of $(\text{ZnO})_x(\text{InN})_{1-x}$ films for Excitonic Transistors
3 . 学会等名 The 4th Asian Applied Physics Conference (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 R. Iwamoto, S. Okunaga, K. Kamataki, H. Hara, K. Koga, M. Shiratani
2 . 発表標題 Machine Learning Analysis for Prediction of Key Plasma Process Parameters
3 . 学会等名 The 4th Asian Applied Physics Conference (国際学会)
4 . 発表年 2019年



1. 発表者名 K. Kaneshima, N. Miyahara, D. Yamashita, K. Kamataki, K. Koga, M. Shiratani, N. Itagaki
2. 発表標題 Effects of Substrate temperature on Crystal Quality of (ZnO) <sub>x</sub> (InN) <sub>1-x</sub> Films Fabricated by Sputter Epitaxy
3. 学会等名 The 4th Asian Applied Physics Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Nakamura, S. Muraoka, K. Kamataki, K. Koga, M. Shiratani, N. Itagaki
2. 発表標題 Surface morphology of single-crystal ZnO films on sapphire substrates fabricated by sputter epitaxy *Yuta Nakamura, Soichiro Muraoka, Kunihiro K
3. 学会等名 The 4th Asian Applied Physics Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Muraoka, D. Yamashita, K. Kamataki, K. Koga, M. Shiratani, N. Itagaki
2. 発表標題 Fabrication of low resistive amorphous In <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :Sn films using impurity mediate amorphization method: Effects of substrate temperature
3. 学会等名 41st International Symposium on Dry Process (DPS2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 村岡宗一郎, 山下大輔, 鎌滝普礼, 古閑一憲, 白谷正治, 板垣奈穂
2. 発表標題 不純物添加アモルファス化法による低抵抗アモルファスITO膜の作製: 基板温度の影響
3. 学会等名 第36回プラズマ・核融合学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金島健太郎, 宮原奈乃華, 山下大輔, 鎌滝晋礼, 古閑一憲, 白谷正治, 板垣奈穂
2. 発表標題 (ZnO) <sub>x</sub> (InN) <sub>1-x</sub> 膜のスパッタエピタキシーにおける基板温度の影響
3. 学会等名 第36回プラズマ・核融合学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中村優太, 村岡宗一郎, 鎌滝晋礼, 古閑一憲, 白谷正治, 板垣奈穂
2. 発表標題 スパッタエピタキシーによるサファイア基板上への単結晶ZnO膜の成長
3. 学会等名 第36回プラズマ・核融合学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岩本亮介, 鎌滝晋礼, 村岡宗一郎, 山下大輔, 板垣奈穂, 古閑一憲, 白谷正治
2. 発表標題 ベイス的最適化による高移動度アモルファスITO/In <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 成膜条件の探索
3. 学会等名 第36回プラズマ・核融合学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Naho Itagaki
2. 発表標題 (仮) Sputter epitaxy through “inverse” SK mode for a new class of excitonic devices
3. 学会等名 MRS Fall 2021 Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Naho Itagaki
2. 発表標題 Sputter epitaxy through “inverse” SK mode for a new class of excitonic devices
3. 学会等名 4th Asia Pacific Conference on Plasma Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Naho Itagaki
2. 発表標題 Inverted Stranski-Krastanov Growth of ZnO Based Semiconductors for Excitonic Devices
3. 学会等名 Symposium D-2, Materials Research Meeting 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Naho Itagaki
2. 発表標題 (仮) Fabrication of thermally-stable high-mobility a-In <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :Sn films by Ar/N <sub>2</sub> sputtering
3. 学会等名 Symposium H-2, Materials Research Meeting 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 板垣奈穂
2. 発表標題 非晶質ZnO膜からの固相結晶化ZnO膜の形成とシード層としての効果
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 板垣奈穂
2. 発表標題 スパッタエピタキシー法を駆使したZnO系新材料の開発
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 板垣奈穂
2. 発表標題 スパッタエピタキシーによる新規酸窒化物半導体材料の作製とエキシトンデバイスへの応用
3. 学会等名 東工大フロンティア材料研究所講演会「複合アニオン酸化物の新電子機能とデバイス研究の最前線」（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Naho Itagaki
2. 発表標題 A novel semiconductor ZION for excitonic devices
3. 学会等名 Satellite meeting of AAPPs-DPP2020（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 D. Takahashi, Y. Nakamura, S. Urakawa, D. Yamashita, T. Okumura, K. Kamataki, K. Koga, M. Shiratani, N. Itagaki
2. 発表標題 Structural and Optical Properties of ZnMgO Films on Sapphire Substrates Fabricated by Sputter Epitaxy
3. 学会等名 ICMAP 2020 & ISFM 2020（国際学会）
4. 発表年 2021年

1 . 発表者名 Y. Mido, S. Urakawa, D. Yamashita, T. Okumura, K. Kamataki, K. Koga, M. Shiratani, N. Itagaki
2 . 発表標題 Sputter deposition of low resistive amorphous In <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :Sn films using nitrogen mediate amorphization method: Effects of nitrogen flow rate
3 . 学会等名 ICMAP 2020 & ISFM 2020 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 R. Narishige, K. Kaneshima, S. Urakawa, D. Yamashita, K. Kamataki, T. Okumura, K. Koga, M. Shiratani, N. Itagaki
2 . 発表標題 Sputter deposition of ZnAlO films with tunable bandgaps from 3.4 to 6.1 eV Structural and Optical Properties of ZnMgO Films on Sapphire Substrates Fabricated by Sputter Epitaxy
3 . 学会等名 ICMAP 2020 & ISFM 2020 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 K. Kaneshima, S. Urakawa, R. Narishige, D. Yamashita, T. Okumura, K. Kamataki, K. Koga, M. Shiratani, N. Itagaki
2 . 発表標題 Growth of high-quality (ZnO) <sub>x</sub> (InN) <sub>1-x</sub> films by RF magnetron sputtering using a two-step growth process
3 . 学会等名 ICMAP 2020 & ISFM 2020 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Y. Nakamura, M. Kikuchi, D. Yamashita, K. Kamataki, T. Okumura, K. Koga, M. Shiratani, N. Itagaki
2 . 発表標題 Impact of surface morphologies of 3D island layers on the single crystal growth of magnetron sputtered ZnO films
3 . 学会等名 ICMAP 2020 & ISFM 2020 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 S. Urakawa, K. Kaneshima, R. Narishige, D. Yamashita, T. Okumura, K. Kamataki, K. Koga, M. Shiratani and N. Itagaki
2 . 発表標題 Sputter deposition of ZnAlO films with tunable bandgaps from 3.4 to 6.1 eV
3 . 学会等名 ICMAP 2020 & ISFM 2020 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Y. Midou, S. Urakawa, D. Yamashita, T. Okumura, K. Kamataki, K. Koga, M. Shiratani, N. Itagaki
2 . 発表標題 Sputter deposition of low resistive amorphous In <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :Sn films using impurity mediate amorphization method: Effects of substrate temperature
3 . 学会等名 The 5th Asian Applied Physics Conference (Asian-APC) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 D. Takahashi, Y. Nakamura, S. Urakawa, D. Yamashita, T. Okumura, K. Kamataki, K. Koga, M. Shiratani, N. Itagaki
2 . 発表標題 Bandgap Tuning of ZnMgO Films on Sapphire Substrates Fabricated by Sputter Epitaxy
3 . 学会等名 The 5th Asian Applied Physics Conference (Asian-APC) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 R. Narishige, K. Kaneshima, D. Yamashita, K. Kamataki, T. Okumura, K. Koga, M. Shiratani, N. Itagaki
2 . 発表標題 Effects of substrate surface polarity on epitaxial growth of magnetron sputtered (ZnO) <sub>x</sub> (InN) <sub>1-x</sub> films
3 . 学会等名 The 5th Asian Applied Physics Conference (Asian-APC) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2020年

1. 発表者名 松本翔剛, 高橋大智, 中村優太, 山下大輔, 奥村賢直, 鎌滝晋礼, 古閑一憲, 白谷正治, 板垣奈穂
2. 発表標題 r/N2スパッタリングによるサファイア基板上へのZnO単結晶成長: O-poorバッファ層の効果
3. 学会等名 令和2年度プラズマ・核融合学会 九州・沖縄・山口支部 第24回支部大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 寺澤寛, 金島健太郎, 成重椋太, 山下大輔, 奥村賢直, 鎌滝晋礼, 古閑一憲, 白谷正治, 板垣奈穂
2. 発表標題 スパッタエピタキシー法による(ZnO)X(InN)1-X膜の作製: 高温バッファ層の効果
3. 学会等名 令和2年度プラズマ・核融合学会 九州・沖縄・山口支部 第24回支部大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

九州大学研究者情報 <a href="http://hyoka.ofc.kyushu-u.ac.jp/search/details/K003622/">http://hyoka.ofc.kyushu-u.ac.jp/search/details/K003622/</a> 電子材料工学研究室 <a href="http://plasma.ed.kyushu-u.ac.jp/inorganic/">http://plasma.ed.kyushu-u.ac.jp/inorganic/</a>
--

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