

令和 6 年 6 月 2 日現在

機関番号：17102

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K18731

研究課題名（和文）量子情報を記憶する「明るい」長寿命励起子の創製

研究課題名（英文）Development of bright excitons with long lifetime for quantum information devices

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） 5,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、ZnO系材料を用いた歪量子井戸構造による「明るい」長寿命励起子の実現である。従来報告の明るい励起子は光による制御性に優れるが、寿命が短い。一方、暗い励起子は長寿命だが光制御が難しい。本研究では、ZnO系材料からなる歪量子井戸で明るい励起子の寿命を延ばすことを目指した。その結果、長寿命な明るい励起子実現の鍵となる、サファイア基板上へのZnMgO/ZnO超高品質ヘテロ界面の形成を実現するとともに、ZnMgOの室温での励起子吸収ならびに発光を確認した。現在上記結果を基にZnO/ZnMgO歪量子井戸を形成し、量子ビットとしての機能発現の確認を行っている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、ZnO系半導体材料からなる歪量子井戸が、従来の明暗励起子において存在した寿命と制御性のトレードオフ問題を解決し、励起子研究に新たな変革点・転換点をもたらすと考え構想に至ったものである。励起子を「電子と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工学的応用を行ってきたこれまでの励起子研究を転換させる点で、学術的意義を有する。また、明るい長寿命励起子の開発は、大規模集積化において有利な「光」によるデータ伝送を前提とした量子コンピュータの実現の一助となるものであり、実用的観点からも意義を有する。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to realize bright excitons with long lifetime using a strained quantum well structure based on ZnO related materials. Conventional bright excitons are highly controllable by light but have short lifetimes, while dark excitons have long lifetimes but are difficult to control with light. This study aims to extend the lifetime of bright excitons using strained quantum wells consisting of ZnO materials. We have realized high-quality ZnMgO/ZnO heterointerfaces on sapphire substrates, which are key to achieving long-lived bright excitons, and confirmed exciton absorption and emission even at room temperature. Based on these results, we are currently fabricating ZnO/ZnMgO strained quantum wells and verifying their functionality as quantum bits.

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 結晶成長 量子構造 エキシトン

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

研究開始当初、グーグルが発表した「量子超越」達成のニュースが、研究開発業界を超え世界中に大きな衝撃を与えていた。一方で、上記量子コンピュータを汎用型量子コンピュータとして本格普及させるためには、量子ビットの数を 10000 倍、100000 倍と増やす必要があるが、超電導素子をベースとした上記量子コンピュータでは配線等がボトルネックとなり、既存技術の延長でのその量子ビット数の実現は不可能とされていた。これは逆に言えば、大規模集積化のブレークスルーが実現できれば、欧米中が先行する当該分野において競争優位に立てることを意味する。そこで本研究では、大規模集積化において圧倒的に有利な、「光」によるデータ伝送を前提とした量子コンピュータを想定し、量子情報を光で記憶する「明るい」長寿命励起子からなる量子ビットを実現することを目指した。励起子とは、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。量子ビットとしては、当時、超伝導素子やイオントラップ型の開発が主流であったが、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、量子演算の総ステップ数に影響)に課題があり、デファクトスタンダードが定まらないまま今に至っている。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励起子のメリットは大きい。しかし従来の励起子では「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た。励起子には、光学遷移が許容された明るい励起子と、光学遷移が禁止された暗い励起子の 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(図 1a,b)。本研究では励起子量子ビットの実現を目指し、明るい励起子そのものを長寿命化させるといふアイデアにより「長いコヒーレンス時間」と「高い制御性」を両立させる試みを行った。

2. 研究の目的

本研究の目的は ZnO 系材料からなる歪量子井戸構造を用いた、「明るい」長寿命励起子の実現である(図 1c)。電子と正孔でスピンの向きが異なる「明るい」励起子は、光による制御性・読み取り性に優れるものの、光学遷移が許容されているがために寿命が短いという致命的課題がある。一方、電子と正孔でスピンの向きが揃った「暗い」励起子は、光学遷移が禁止されているため数マイクロ秒もの長い寿命を有するが、本質的に光によるアクセスが不可能(“optical inaccessibility”)であり、その制御性・読み取り性は極めて低い。そこで本研究では ZnO 系材料からなる歪量子井戸を作製し、明るい励起子そのものの寿命を伸ばすという手法により上記課題を解決する。

3. 研究の方法

ZnO は、直接遷移型のワイドギャップ半導体材料である。注目すべきはその室温を超える高い励起子束縛エネルギーと強い圧電性であり、前者はデバイスの室温動作を、後者は励起子の長寿命化を可能にする。歪量子井戸を作成した際に発現する数 MV/cm もの巨大ピエゾ電界が電子と正孔の波動関数を空間的に分離し、それらの再結合を抑制するからである(図 1c、読み取り時には逆方向の電界を印加)。本研究では、井戸層を障壁層に対してコヒーレント(格子緩和させず)に成長させることで歪量子井戸を形成する。寿命の測定は、歪量子井戸に励起光を照射し、ストリークカメラにより発光寿命を観測することで行う。これにより明るい励起子における長寿命化を実現する。

4. 研究成果

初年度は、「長寿命な明るい励起子」実現の鍵となる、サファイア基板上への ZnMgO/ZnO 超高品質ヘテロ界面の形成を行うとともに、ZnMgO の室温での励起子吸収ならびに発光を確認した。量子井戸の作製においては各層の高品質単結晶成長が前提となるが、ZnO 系材料用の基板として一般的に用いられるサファイアとの大きな格子不整合率(18%)がボトルネックとなっていた(図 2 a,b)。そこで本研究では、逆 Stranski-Krastanov (逆 SK) 法によりこれを解決し、まずは障壁層となる ZnMgO 膜の単結晶成長を試みた。逆 SK モードとは、従来報告の SK モードとは逆に、3次元島状成長から 2次元成長に移行するモードである。このような成長モードの移行は従来不可能であったが、非固溶系の不純物である窒素の微量添加により表面エネルギーを制御することでこれに成功した。得られた ZnMgO 膜は原子レベルで平坦な表面を有し、且つ、高い面外・面内配向性を有していた。また光学測定においては、室温下での励起子吸収が観測され、さらに Zn_{0.86}Mg_{0.14}O 膜の低温 PL スペクトルではフォノンレプリカによる発光を確認するなど、逆 SK モード成長した ZnMgO 膜の高い結晶品質が示された。

さらに、上記で得られた ZnMgO 膜は極めて高い組成の均一性を有することが分かった。Zn_{0.78}Mg_{0.22}O 膜断面の EDX 分析を行ったところ、従来法で作製した ZnMgO 膜は Mg が凝集した領域が点在していたのに対し、逆 SK モードで成長させた ZnMgO 膜は均一な Mg 組成分布を持つことが確認された。また光学評価により室温でのエキシトンの存在も確認されたことから、上記の ZnMgO 障壁層上に ZnO 量子井戸を形成することで、長寿命な明るい励起子を実現するものと期待される。

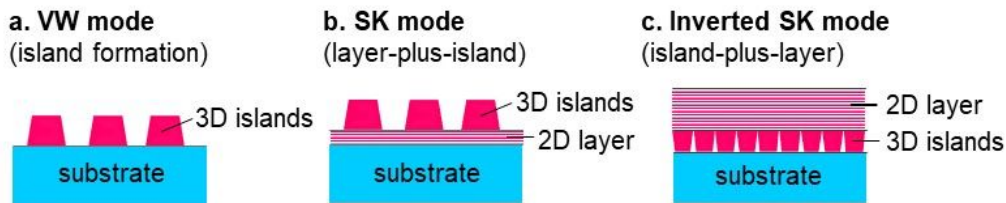


図 2. エピタキシャル成長における 3 つの成長モード . a) Volmer-Weber モード (従来報告), b) Stranski-Krastanov モード (従来報告), c) 逆 Stranski-Krastanov モード (本研究).

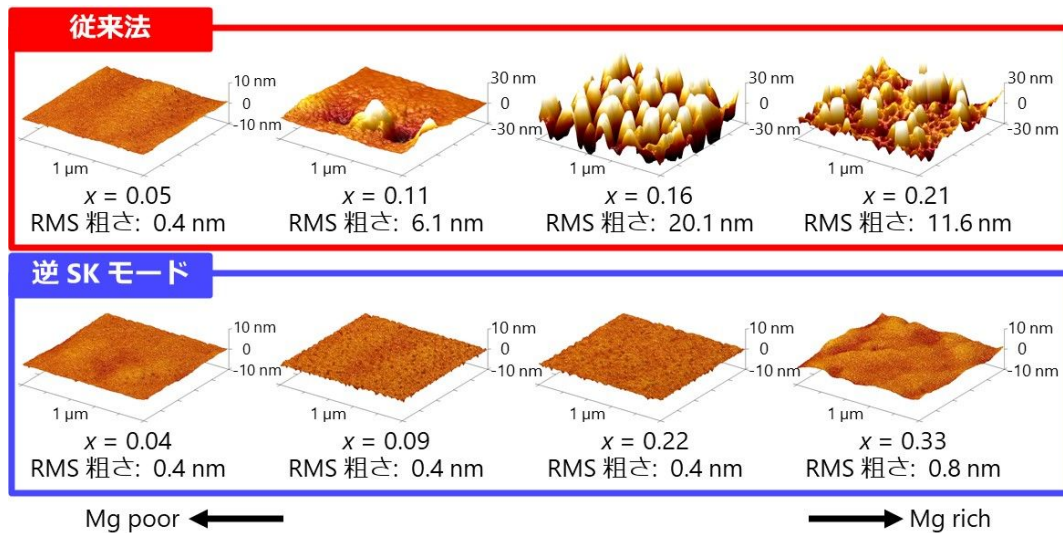


図 3. 従来 SK モードおよび本提案の逆 SK モードで成長した $Zn_{1-x}Mg_xO$ 膜の表面 AFM 像 .

次に、初年度に得られた高品質単結晶薄膜の励起子寿命ならびに励起子発光メカニズムを明らかにすることを目的とし、時間分解ルミネッセンス計測を行った。その結果、非輻射再結合中心密度が $10^{18} / \text{cm}^3$ と比較的高く、これが量子ビットとしての性能を律速する可能性が示唆された。XRD 測定結果からこれら非輻射再結合中心は主に、転位ではなく点欠陥に起因していることが分かった。そこで次に、上記逆 SK 法における結晶成長の前段階として、極性制御層としての極薄 MgO 膜を形成し、点欠陥の低密度化を試みた。結果、膜厚 1-2 nm の MgO 層の重畳は、ZnO 膜および ZnMgO 膜の表面平坦性および結晶品質の向上に極めて効果的であることが分かった。特に面外配向性は大きく向上し、本手法により作成した ZnO 膜の(0002) 面 X 線ロックイングカーブ半値幅はサファイア基板直上に作製した ZnO 膜に比べて 1 桁低い、約 0.03° の値を示した。これは、薄膜の極性を制御することで、成長表面におけるスパッタ粒子のマイグレーションが促進され、欠陥発生が抑制されたためと考えられる。

上述の非輻射再結合中心についてさらに調査を進めたところ、その由来は非平衡型の欠陥である Zn 空孔との複合欠陥である可能性が示唆されたため、次に、成膜装置の改造等を行い、熱平衡に近い条件にてサンプルを作製し評価を行った。その結果、非輻射再結合寿命が 2 倍程度まで伸びることが分かり、やはり熱平衡に近い条件での薄膜成長が、非輻射再結合中心となる欠陥の低減に有効という指針が得られた。またこれも上述のように、逆 SK 法における結晶成長の前段階として、極性制御層としての極薄 MgO 膜を形成することで、更なる高品質化を実現した。これについても反射高速電子線回折等による詳細な分析を進めたところ、上記 MgO は準安定相であるウルツ鉱型の結晶構造を有していることが分かった。従って上述の結晶品質の向上は、MgO 層の導入により吸着原子マイグレーションに有利な極性面が形成されたためと考えられる。現在上記結果を基に ZnO/ZnMgO 歪量子井戸を形成し、量子ビットとしての機能発現の確認を行っている。

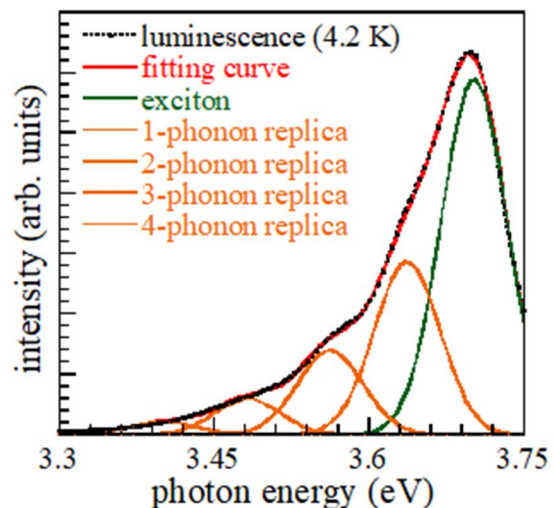


図 4. $Zn_{0.86}Mg_{0.14}O$ 膜のバンド端近傍における低温 (4.2 K) PL スペクトル .

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 14件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Narishige Ryota, Yamashita Naoto, Kamataki Kunihiro, Okumura Takamasa, Koga Kazunori, Shiratani Masaharu, Yabuta Hisato, Itagaki Naho	4. 巻 38
2. 論文標題 Effects of substrate surface polarity on heteroepitaxial growth of pseudobinary ZnO-InN alloy films on ZnO substrates	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Materials Research	6. 最初と最後の頁 1803 ~ 1812
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1557/s43578-022-00827-4	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 Agusutrisno M.N., Narishige Ryota, Kamataki Kunihiro, Okumura Takamasa, Itagaki Naho, Koga Kazunori, Shiratani Masaharu, Yamashita Naoto	4. 巻 162
2. 論文標題 Control of inhomogeneity and magnetic properties of ZnO:Co films grown by magnetron sputtering using nitrogen	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Materials Science in Semiconductor Processing	6. 最初と最後の頁 107503 ~ 107503
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.mssp.2023.107503	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 Putri Tika E., Chawarambwa Fadza L., Attri Pankaj, Kamataki Kunihiro, Itagaki Naho, Koga Kazunori, Shiratani Masaharu	4. 巻 -
2. 論文標題 Performance comparison of nitrile-based liquid electrolytes on bifacial dye-sensitized solar cells under low-concentrated light	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 MRS Advances	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) 10.1557/s43580-022-00270-x	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 Chawarambwa Fadza Lesley, Putri Tika Erna, Attri Pankaj, Kamataki Kunihiro, Itagaki Naho, Koga Kazunori, Shiratani Masaharu	4. 巻 45
2. 論文標題 The Effects of Spin-Coating Rate on Surface Roughness, Thickness, and Electrochemical Properties of a Pt Polymer Counter Electrode	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Advanced Engineering Forum	6. 最初と最後の頁 1 ~ 13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4028/p-6l16r1	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 Takahashi Daichi, Yamashita Naoto, Yamashita Daisuke, Okumura Takamasa, Kamataki Kunihiro, Koga Kazunori, Shiratani Masaharu, Itagaki Naho	4. 巻 -
2. 論文標題 Epitaxial growth of Zn1-xMgxO films on sapphire substrates via inverted Stranski-Krastanov mode using magnetron sputtering	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 MRS Advances	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) 10.1557/s43580-022-00234-1	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 Uchida Giichiro, Nagai Kenta, Habu Yuma, Hayashi Junki, Ikebe Yumiko, Hiramatsu Mineo, Narishige Ryota, Itagaki Naho, Shiratani Masaharu, Setsuhara Yuichi	4. 巻 12
2. 論文標題 Nanostructured Ge and GeSn films by high-pressure He plasma sputtering for high-capacity Li ion battery anodes	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Reports	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) 10.1038/s41598-022-05579-z	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 Chawarambwa Fadzai Lesley, Putri Tika Erna, Pankaj Attri, Kamataki Kunihiro, Itagaki Naho, Koga Kazunori, Shiratani Masaharu	4. 巻 1168
2. 論文標題 Performances of Carbon Black-Titanium nitrate and Carbon Black-Titanium/Triton X-100 Composite Polymer Counter Electrodes for Dye-Sensitized Solar Cells	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Advanced Materials Research	6. 最初と最後の頁 35 ~ 47
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4028/www.scientific.net/AMR.1168.35	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 Chawarambwa Fadzai Lesley, Putri Tika Erna, Hwang Sung-Hwa, Attri Pankaj, Kamataki Kunihiro, Itagaki Naho, Koga Kazunori, Nakamura Daisuke, Shiratani Masaharu	4. 巻 123
2. 論文標題 Improved luminescence performance of Yb3+-Er3+-Zn2+: Y2O3 phosphor and its application to solar cells	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Optical Materials	6. 最初と最後の頁 111928 ~ 111928
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.optmat.2021.111928	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 Hayashi Junki, Nagai Kenta, Habu Yuma, Ikebe Yumiko, Hiramatsu Mineo, Narishige Ryota, Itagaki Naho, Shiratani Masaharu, Setsuhara Yuichi, Uchida Giichiro	4. 巻 61
2. 論文標題 Morphological control of nanostructured Ge films in high Ar-gas-pressure plasma sputtering process for Li ion batteries	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SA1002 ~ SA1002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac2b7b	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 Putri Tika E., Chawarabwa Fadzai L., Son Min-Kyu, Attri Pankaj, Kamataki Kunihiro, Itagaki Naho, Koga Kazunori, Shiratani Masaharu	4. 巻 4
2. 論文標題 Performance Characteristics of Bifacial Dye-Sensitized Solar Cells with a V-Shaped Low-Concentrating Light System	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Applied Energy Materials	6. 最初と最後の頁 13410 ~ 13414
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.1c02774	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 Chawarabwa Fadzai Lesley, Putri Tika Erna, Attri Pankaj, Kamataki Kunihiro, Itagaki Naho, Koga Kazunori, Shiratani Masaharu	4. 巻 781
2. 論文標題 Effects of concentrated light on the performance and stability of a quasi-solid electrolyte in dye-sensitized solar cells	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemical Physics Letters	6. 最初と最後の頁 138986 ~ 138986
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cpllett.2021.138986	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 Nunomura Shota, Sakata Isao, Sato Aiko, Lozac'h Mickael, Misawa Tatsuya, Itagaki Naho, Shiratani Masaharu	4. 巻 156
2. 論文標題 Passivating antireflection coating of crystalline silicon using i/n a-Si:H/SiN trilayer	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Physics and Chemistry of Solids	6. 最初と最後の頁 110127 ~ 110127
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jpccs.2021.110127	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 Hwang Sung-Hwa, Iwamoto Ryosuke, Okumura Takamasa, Kamataki Kunihiro, Itagaki Naho, Koga Kazunori, Nakatani Tatsuyuki, Shiratani Masaharu	4. 巻 729
2. 論文標題 Comparison between Ar+CH4 cathode and anode coupling chemical vapor depositions of hydrogenated amorphous carbon films	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Thin Solid Films	6. 最初と最後の頁 138701 ~ 138701
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tsf.2021.138701	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 Narishige Ryota, Itagaki Naho, Shiratani Masaharu	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 (EDTM)	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) 10.1109/EDTM50988.2021.9420921	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50件 (うち招待講演 8件 / うち国際学会 33件)

1. 発表者名 Naho Itagaki
2. 発表標題 Structural Control of Sputter Deposited Films Using Impurities
3. 学会等名 International C+Nano Convergence Technology Symposium (ICTS) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Z. Shen, Y. Mido, N. Yamashita, T. Okumura, K. Kamataki, K. Koga, M. Shiratani1, H. Yabuta, N. Itagaki
2. 発表標題 Study of Solid-phase Crystallization of Amorphous ZnON Films
3. 学会等名 7th International Conference on Advances in Functional Materials(AFM-2022) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 N. Yamashita, D. Takahashi, T. Okumura, K. Kamataki, K. Koga, M. Shiratani, N. Itagaki
2. 発表標題 Microscopic analysis of single crystalline Zn _{1-x} Mg _x O thin films on sapphire grown via inverted Stranski-Krastanov mode
3. 学会等名 7th International Conference on Advances in Functional Materials(AFM-2022) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 R. Narishige, N. Yamashita, K. Kamataki, T. Okumura, K. Koga, M. Shiratani, N. Itagaki
2. 発表標題 Effects of thermal treatment of ZnO substrates on epitaxial growth of (ZnO) _x (InN) _{1-x} films fabricated by magnetron sputtering
3. 学会等名 7th International Conference on Advances in Functional Materials(AFM-2022) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 K.Yataka, N. Yamashita, D. Takahashi, T. Okumura, K. Kamataki, K. Koga, M. Shiratani, N. Itagaki
2. 発表標題 Sputtering deposition of single crystalline Zn _{1-x} Mg _x O films on sapphire substrate via inverted Staranski-Krastanov mode: effects of substrate
3. 学会等名 7th International Conference on Advances in Functional Materials(AFM-2022) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 湯上貴文, 矢高功太郎, 三石遼, 山下尚人, 山下大輔, 奥村賢直, 鎌滝晋礼, 木山治樹, 古閑一憲, 白谷正治, 藪田久人, 板垣奈穂
2. 発表標題 サファイア基板上への Zn _{1-x} Mg _x O 膜のスパッタエピタキシー : ZnO/N/MgO バッファー層の効果
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会 九州・沖縄・山口支部 第26回 支部大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 和田義晴, 沈志遠, 藪田久人, 山下尚人, 奥村賢直, 鎌滝晋礼, 木山治樹, 古閑一憲, 白谷正治, 板垣奈穂
2. 発表標題 固相結晶成長した ZnO シード層上への ZnO:Al 膜のスputタリング成膜
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会 九州・沖縄・山口支部 第26回 支部大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 板垣奈穂
2. 発表標題 不純物でスputタ膜のモフォロジーを制御する～アモルファスからエビ膜まで～
3. 学会等名 第78回CVD研究会(国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Naho Itagaki
2. 発表標題 Sputtering Growth of Single-Crystalline ZnO Based Semiconducting Films on Large Lattice-Mismatched Substrates
3. 学会等名 International Workshop on Magnetron Sputter Epitaxy (IWMSE) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Y. Nakano, R. Narishige, N. Yamashita, K. Kamataki, T. Okumura, K. Koga, M. Shiratani, H. Kiyama, H. Yabuta, N. Itagaki
2. 発表標題 Sputter epitaxy of (ZnO) _x (InN) _{1-x} films on sapphire substrates using ZnO _N buffer layers
3. 学会等名 The 7th Asian Applied Physics Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Z. Shen, H. Yabuta, Y. Wada, N. Yamashita, T. Okumura, K. Kamataki, K. Koga, M. Shiratani, H. Kiyama, N. Itagaki
2. 発表標題 Sputtering deposition of ZnO:Al Transparent Conducting Films on Seed Layers Crystallized via Thermal Annealing of Amorphous ZnON Films
3. 学会等名 The 7th Asian Applied Physics Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Naho Itagaki
2. 発表標題 Structural Control of Sputter Deposited Films beyond the Thornton Diagram Using Impurities
3. 学会等名 AAPPS-DPP 2022 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 沈志遠, 數田久人, 山下尚人, 鎌滝晋礼, 奥村賢直, 古閑一憲, 白谷正治, 板垣奈穂
2. 発表標題 固相結晶化シード層上へのZnO:Al透明導電膜のスパッタリング成膜: 固相結晶化温度の影響
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 成重椋太, 山下尚人, 鎌滝晋礼, 奥村賢直, 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 $(\text{ZnO})_x(\text{InN})_{1-x}$ 単結晶薄膜の室温成膜
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 三石遼, 矢高功太郎, 山下尚人, 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 格子不整合サファイア基板上への単結晶ZnO膜のスパッタリング成膜: ZnONバッファ層の効果
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 矢高功太郎, 高橋大智, 山下尚人, 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 異なるMg組成を有する単結晶ZnO _{1-x} Mg _x O膜成長におけるZnONバッファ層の効果
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 山下尚人, 中村優太, 鎌滝晋礼, 奥村賢直, 板垣奈穂, 古閑一憲, 白谷正治
2. 発表標題 サファイア基板上の単結晶ZnO薄膜作製におけるバッファ層評価指標
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 N. Itagaki, Y. Mido, Z. Shen, N. Yamashita, T. Okumura, K. Kamataki, K. Koga, M. Shiratani
2. 発表標題 Fabrication of Low-Resistive Amorphous In ₂ O ₃ :Sn Films at 600 °C by Magnetron Sputtering Using Nitrogen
3. 学会等名 9th International Symposium on Control of Semiconductor Interfaces (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 A. M. Nurut, R. Narishige, N. Yamashita, K. Kamataki, T. Okumura, K. Koga, M. Shiratani, N. Itagaki
2. 発表標題 Control of Crystal Structure and Magnetic Properties of ZnO: Co Films Grown by Magnetron Sputtering Using Nitrogen
3. 学会等名 9th International Symposium on Control of Semiconductor Interfaces (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 R. Narishige, N. Yamashita, K. Kamataki, T. Okumura, K. Koga, M. Shiratani, N. Itagaki
2. 発表標題 Effects of surface polarity of ZnO substrates on epitaxial growth of (ZnO) _x (InN) _{1-x} films fabricated at room temperature
3. 学会等名 9th International Symposium on Control of Semiconductor Interfaces (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 三石遼, 山下尚人, 矢高功太郎, 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 逆Stranski-Krastanovモードによる単結晶ZnO薄膜のスパッタリング成膜: 窒素流量の影響
3. 学会等名 2022年度日本表面真空学会 九州支部学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 R. Narishige, N. Yamashita, K. Kamataki, T. Okumura, K. Koga, M. Shiratani, N. Itagaki
2. 発表標題 Epitaxial Growth of Atomically Flat Single-crystalline (ZnO) (InN) Films on O-polar ZnO Substrates by Magnetron Sputtering
3. 学会等名 MRS spring meeting 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1 . 発表者名 N. Yamashita, Y. Nakamura, K. Kamataki, T. Okumura, K. Koga, M. Shiratani, N. Itagaki
2 . 発表標題 Key parameters for single crystalline ZnO film growth by magnetron sputtering via inverted Stranski-Krastanov mode
3 . 学会等名 MRS spring meeting 2022 (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 R. Mitsuishi, N. Yamashita, D.Takahashi, T. Okumura, K. Kamataki, K. Koga, M. Shiratani, N. Itagaki
2 . 発表標題 Epitaxial Growth of Single-Crystalline ZnO Films on Sapphire Substrates via Inverted Stranski-Krastanov Mode by Low-Power Magnetron Sputtering
3 . 学会等名 MRS spring meeting 2022 (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 N. Itagaki
2 . 発表標題 Sputtering Deposition with Impurities: Another Key Parameter to Control Film Structures(Invited)
3 . 学会等名 MRS fall meeting 2021 (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 N. Itagaki
2 . 発表標題 Development of New Oxynitride Semiconductors with Tunable Band Gaps Using Magnetron Sputtering(Invited)
3 . 学会等名 Materials Research Meeting 2021 (MRM2021) (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1. 発表者名 N. Itagaki
2. 発表標題 Inverted Stranski-Krastanov Growth of ZnO Based Semiconductors for Excitonic Devices(Invited)
3. 学会等名 Materials Research Meeting 2021 (MRM2021) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 N. Itagaki
2. 発表標題 Sputter epitaxy of ZnO based oxide/oxynitride semiconductors for excitonic transistors(Invited)
3. 学会等名 5th Asia-Pacific Conference on Plasma Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 板垣奈穂, 沈志遠, 御堂雄大, 藪田久人
2. 発表標題 非晶質ZnON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(招待講演)
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 Z. Shen, Y. Mido, N. Yamashita, T. Okumura, K. Kamataki, K. Koga, M. Shiratani ¹ , H. Yabuta, N. Itagaki
2. 発表標題 A Study of Solid-phase Crystallization of Amorphous ZnON Films
3. 学会等名 7th International Conference on Advances in Functional Materials(AFM-2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1 . 発表者名 N. Yamashita, D. Takahashi, T. Okumura, K. Kamataki, K. Koga, M. Shiratani, N. Itagaki
2 . 発表標題 Microscopic analysis of single crystalline Zn _{1-x} Mg _x O thin films on sapphire grown via inverted Stranski-Krastanov mode
3 . 学会等名 7th International Conference on Advances in Functional Materials(AFM-2022) (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 R. Mitsuishi, N. Yamashita, D. Takahashi, T. Okumura, K. Kamataki, K. Koga, M. Shiratani, N. Itagaki
2 . 発表標題 Effects of RF powers on the crystal quality and surface morphology of single crystalline ZnO films deposited by magnetron sputtering
3 . 学会等名 7th International Conference on Advances in Functional Materials(AFM-2022) (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 R. Narishige, N. Yamashita, K. Kamataki, T. Okumura, K. Koga, M. Shiratani, N. Itagaki
2 . 発表標題 Effects of thermal treatment of ZnO substrates on epitaxial growth of (ZnO) _x (InN) _{1-x} films fabricated by magnetron sputtering
3 . 学会等名 7th International Conference on Advances in Functional Materials(AFM-2022) (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 K.Yataka, N. Yamashita, D. Takahashi, T. Okumura, K. Kamataki, K. Koga, M. Shiratani, N. Itagaki
2 . 発表標題 Sputtering deposition of single crystalline Zn _{1-x} Mg _x O films on sapphire substrate via inverted Staranski-Krastanov mode: effects of substrate
3 . 学会等名 7th International Conference on Advances in Functional Materials(AFM-2022) (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1. 発表者名	R. Mitsuishi, N. Yamashita, D.Takahashi, T. Okumura, K. Kamataki, K. Koga, M. Shiratani, N. Itagaki
2. 発表標題	Epitaxial Growth of Single-Crystalline ZnO Films on Sapphire Substrates via Inverted Stranski-Krastanov Mode by Low-Power Magnetron Sputtering
3. 学会等名	MRS spring meeting 2022 (国際学会)
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	R. Narishige, N. Yamashita, K. Kamataki, T. Okumura, K. Koga, M. Shiratani, N. Itagaki
2. 発表標題	Epitaxial Growth of Atomically Flat Single-crystalline (ZnO) (InN) Films on O-polar ZnO Substrates by Magnetron Sputtering
3. 学会等名	MRS spring meeting 2022 (国際学会)
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	N. Yamashita, Y. Nakamura, K. Kamataki, T. Okumura, K. Koga, M. Shiratani, N. Itagaki
2. 発表標題	Key parameters for single crystalline ZnO film growth by magnetron sputtering via inverted Stranski-Krastanov mode
3. 学会等名	MRS spring meeting 2022 (国際学会)
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	矢高功太郎, 山下尚人, 高橋大智, 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	逆 Stranski-Krastanov モードを利用した単結晶 ZnMgO 薄膜のスパッタリング成膜
3. 学会等名	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	2021年

1. 発表者名 Z. Shen, N. Yamashita, Y. Mido, T. Okumura, K. Kamataki, K. Koga, M. Shiratani, H. Yabuta, N. Itagaki
2. 発表標題 Solid-phase Crystallization of Sputter-deposited ZnO Films and Their Impacts as Seed Layers for ZnO:Al Transparent Conducting Oxides
3. 学会等名 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 2021年

1. 発表者名 D. Takahashi, D. Yamashita, T. Okumura, K. Kamataki, K. Koga, M. Shiratani, N. Itagaki
2. 発表標題 Inverted Strancki-Krastanov Growth of Single-Crystalline Zn Mg O Films on Sapphire Substrates using Magnetron Sputtering
3. 学会等名 MRS fall meeting 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 R. Narishige, N. Yamashita, K. Kamataki, T. Okumura, K. Koga, M. Shiratani, N. Itagaki
2. 発表標題 Epitaxial Growth of Atomically Flat Single-crystalline (ZnO) (InN) Films on O-polar ZnO Substrates by Magnetron Sputtering
3. 学会等名 MRS fall meeting 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Mido, K. Takeda, D. Yamashita, T. Okumura, K. Kamataki, K. Koga, M. Shiratani, M. Hori, N. Itagaki
2. 発表標題 High-temperature Growth of Amorphous In _{0.2} Sn Films by Magnetron Sputtering using Nitrogen
3. 学会等名 MRS fall meeting 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 R. Mitsuishi, D. Takahashi, D. Yamashita, T. Okumura, N. Yamashita, K. Kamataki, K. Koga, M. Shiratani, N. Itagaki
2. 発表標題 Sputtering deposition of single crystalline ZnO films on sapphire substrates via inverted Stranski-Krastanov mode: effects of RF power
3. 学会等名 The 6th Asian Applied Physics Conference (Asian-APC) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 R. Narishige, D. Yamashita, K. Kamataki, T. Okumura, K. Koga, M. Shiratani, N. Itagaki
2. 発表標題 Epitaxial growth of (ZnO) _x (InN) _{1-x} films by magnetron sputtering: effects of surface polarity of ZnO substrates
3. 学会等名 Plathinium 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 御堂雄大, 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 窒素添加スパッタ法による高移動度アモルファスIn ₂ O ₃ :Sn薄膜の高温成膜
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 高橋大智, 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 ZnOバッファ層を用いたサファイア基板上への単結晶Zn _{1-x} Mg _x O薄膜の成長
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 成重 棕太, 山下大輔, 鎌滝晋礼, 奥村賢直, 古閑一憲, 白谷正治, 板垣 奈穂
2. 発表標題 マグネトロンスパッタリング法で作製した $(\text{ZnO})_x(\text{InN})_{1-x}$ 膜の表面モフォロジーに及ぼす基板極性の影響
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 成重 棕太, 山下大輔, 鎌滝晋礼, 奥村賢直, 古閑一憲, 白谷正治, 板垣奈穂
2. 発表標題 $(\text{ZnO})_x(\text{InN})_{1-x}$ 膜のスパッタエピタキシーに及ぼす基板表面極性の影響
3. 学会等名 令和3年度日本表面真空学会九州支部学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋大智, 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 スパッタ法によるサファイア基板上への原子平坦な ZnMgO 薄膜の作製
3. 学会等名 令和3年度日本表面真空学会九州支部学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 御堂雄大, 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 窒素添加スパッタ法による高移動度アモルファス $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}$ 薄膜の作製
3. 学会等名 令和3年度日本表面真空学会九州支部学術講演会
4. 発表年 2021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			