

令和 4 年 6 月 22 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18H01206

研究課題名(和文)スパッタエピタキシーによる革新的エキシトンデバイスの実現と励起子輸送機構の解明

研究課題名(英文) Fabrication of novel excitonic devices using flux-controlled sputter epitaxy and study of exciton transport in the devices

研究代表者

板垣 奈穂 (Naho, Itagaki)

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) 13,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、高精度フラックス制御スパッタと代表者オリジナル材料ZIONを駆使して、革新的エキシトンデバイスを創製することを目的とした。主な成果としては、単結晶ZIONエピタキシャル成長、原子レベルで急峻なZION/ZnOヘテロ界面の形成、ゲート電極への光照射によるエキシトントランジスタのスイッチング動作実証、が挙げられる。また本研究では、従来ブラックボックスとなっていた外場によるエキシトン輸送の機構解明も試みた。エキシトン輸送方向に平行な電界成分を外力とした拡散方程式を解いた結果、両極性拡散と不均一電界中での双極子の並進運動がデバイス内でのエキシトンの主な輸送機構である可能性が示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、代表者オリジナル材料であるZIONが有する潜在的な高いエキシトン束縛エネルギーとピエゾ効果を、高精度フラックス制御スパッタにより発現させ、エキシトントランジスタ実用の鍵となる「室温・長寿エキシトン」を実現することを目的としたものである。本研究は、プラズマ物理の視点から準粒子の物性探究を図るという学術的新規性に加え、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)：The objective of this research is to fabricate novel excitonic devices using novel materials ZION, which have been developed by the principal investigator (PI), by means of flux-controlled sputter epitaxy. In this project, we succeeded in (1) epitaxial growth of single crystalline ZION films, (2) formation of atomically sharp hetero-interfaces between ZION and ZnO, and (3) demonstration of switching operation of exciton transistors by photo-irradiation to the gate electrodes. We also discussed the mechanism of exciton transport by an external electric field. Based on the hypothesis that the main transport mechanisms are bipolar diffusion and translational motion of dipoles in a non-uniform electric field, we solved the diffusion equation with the electric field parallel to the exciton transport direction as the external force and succeeded in qualitatively describing exciton transport in the devices.

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：エキシトントランジスタ 酸化物半導体 ZION 量子井戸 プラズマ スパッタリング エピタキシャル成長 結晶成長

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。

エキシトントランジスタは、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(図 1)。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、

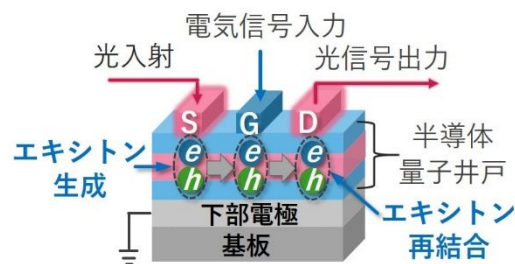


図 1. エキシトントランジスタ模式図

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、実用化の目は立っていない。

このように、エキシトンデバイス最大の課題は「低い動作温度」と「短いエキシトン寿命」であるが、これらはデバイス実用化を妨げているだけでなく、デバイス動作根本に関わる「電界によるエキシトン輸送」の機構解明を難しくしている。ソース・ドレイン間で形成されるエキシトン双極子ポテンシャル qdE (q :電荷量, d :電子・正孔間距離, E : 電子・正孔間への印加電界)の勾配により輸送が行われる、というのが従来の説であるが(A. A. High et al., *Opt. Lett.* 32, 2466, 2007), 中性準粒子であるエキシトンがどのように電界から力を受け輸送されるのか、そのメカニズムはわかっていない。

2. 研究の目的

本研究は、高精度フラックス制御スパッタと代表者オリジナル材料 $(\text{ZnO})_x(\text{InN})_{1-x}$ (以下 ZION) を用いて [1,2], エキシトントランジスタ実用の鍵となる「室温・長寿命エキシトン」を実現することを目的としたものである。ZION は ZnO と InN の擬 2 元型混晶であり、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 ZION の強い圧電性 ($e_{33} \sim 1 \text{ C/m}^2$) により、量子井戸を形成した際に大きなピエゾ電界 ($\sim \text{MV/cm}$) が発生し、電子・正孔の波動関数が空間的に分離する。このため室温かつ長寿命なエキシトンの生成が可能となる。この室温安定・長寿命エキシトンが実現すれば近い将来、高出力型・励起子トランジスタの作製が可能となるだけでなく、従来ブラックボックスとなっていた「外場によるエキシトン輸送」の機構解明の場をもたらすと期待される。

3. 研究の方法

励起子をキャリアとする革新デバイスの実現においては当然、デバイスグレードの材料を用意する必要がある。結晶欠陥は残留キャリアを発生させ、 piezo電界を相殺するとともに、励起子の非輻射再結合中心となるからである。そこで本研究ではまず、高精度フラックス制御スパッタリング法を創出し、各種原子の蒸発レートの高精度制御により $(\text{ZnO})_x(\text{InN})_{1-x}$ の化学量論組成 $(\text{ZnO})_x(\text{InN})_{1-x}$ の実現を試みた。さらに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 の高品質成膜ならびに障壁層である ZnO 膜との高品質ヘテロ界面の形成を試みた。「外場によるエキシトン輸送」の機構解明については、両極性拡散と不均一電界中での双極子の並進運動が励起子の主な輸送機構であるとの仮説を立て、これを検証した。具体的にはデバイスシミュレータによりエキシトントランジスタ内の電界分布を求め、それらを外力がある場合の拡散方程式に代入することで、エキシトン輸送の記述を試みた。

4. 研究成果

高精度フラックス制御スパッタリング法の開発ならびにそれを用いた各種原子蒸発レートの精緻な制御により、単結晶 ZION エピタキシャル成長、原子レベルで急峻な ZION / ZnO ヘテロ界面の形成、ZION エキシントンランジスタにおけるゲートへの光照射によるスイッチング、を実現した。さらに本スパッタリング装置を用いることで、研究開始当初、1.5–3.4 eV であったバンドギャップ制御範囲を 1.5–6.0 eV にまで広げること成功する、という副次的成果も得られた。成果 および の単結晶 ZION エピタキシャル成長については、フラックス制御に加えて、基板の表面モフォロジーや極性の適切な選択が極めて有用であることが分かった。通常、基板の表面モフォロジーは高さ分布の二乗平均平方根 (root mean square: RMS) 粗さで議論されることが多いが、我々は、

(RMS の 3 乗で規格化した) 高さ分布の三乗平均である分布の「歪度」が基板上に作製する薄膜品質を決定づけるキーパラメータであることを突き止めた (図 2) [3]。これは、吸着原子のマイグレーションを阻害する基板表面での微少なスパイク成分が、分布の RMS (ここでは表面高さ分布の標準偏差に該当) ではなく分布の非対称性を表す歪度に反映されることに起因する。

また ZnO 基板を用いた場合、O 極性面上で高品質膜が得られることが分かった。これは、ウルツ鉱の結晶構造においてアニオンが成長最表面に配置されたときのダングリングボンド数が極性によって大きくことなるためであり、ダングリングボンドの少ない O 極性面上で吸着 Zn 原子の高い表面移動度が得られるためと考えられる。高分解 TEM 像から ZION 膜の原子間距離を算出したところ、O 極性面上では少なくとも 15 ML までは膜が基板に対してコヒーレント成長しており、励起子長寿命化の鍵である piezo電界が発生していることが示唆された。この単結晶 ZION 膜を用いて歪み量子井戸を形成したところ、ゲートへの光信号入力によるエキシトン流のスイッチングに成功した。このとき、量子井戸に piezo電界を誘起させると、On/Off 比が 2 桁上昇することがわかった。これは、piezo電界によりエキ

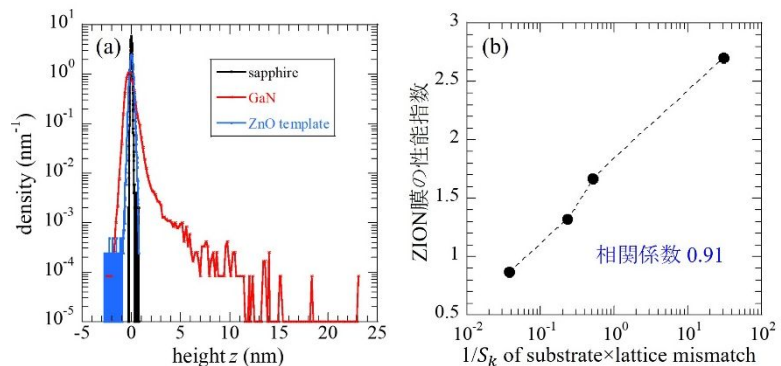


図 2. 基板の表面モフォロジーが ZION 膜の品質に与える影響。(a) 各種エピタキシャル基板における表面高さ分布。(b) ZION 膜の性能指数と基板との格子不整合率および基板表面高さ分布の歪度(S_k)との関係 [3]。

シトンの再結合が抑制され、再結合が起きる前に、信号光によるエキシトンの解離が生じたためと考えられる。加えて、ワイドギャップ障壁層として検討している ZnMgO の高品質単結晶成長にも成功し、室温での励起子発光を確認した [4]。

また本研究では、励起子の輸送について、拡散過程からそのメカニズムの解明に着手した。励起子の輸送に関してはこれまで、ソース・ドレイン間で形成される励起子双極子エネルギーの勾配($ed\delta E_z, d$: 量子井戸幅, E_z : 電界強度の膜厚方向成分)がその駆動力になっているとの報告がなされている (Grosso *et al.*, 2009)。しかしここでは励起子の輸送方向に垂直な電界成分 E_z のみが議論されており (それは輸送方向における運動量を変化させない)、力と運動の関係についての議論はなされていない。そこで本研究では、両極性拡散と不均一電界中での双極子の並進運動が励起子の主な輸送機構であるとの仮説を立て、この検証に着手した。ソースで生成された励起子は濃度勾配によりドレインに向かって拡散するが、電子と正孔の位置において電界の向きや強度が異なれば、それらは電界勾配に沿って並進運動 (ドリフト) する。この時、電子と正孔の位置関係がランダムであれば正味のドリフト流はゼロになるが、ZAION のようなイオン結合性の結晶では電子と正孔で有効質量が大きく異なり、より大きい拡散係数を有する電子が常に正孔に先行して拡散する (正確には、電子の早い拡散により電子-正孔間に電界が誘起され、これが電子を減速、最終的に電子が先行しながら正孔と等しい速度で拡散する (両極性拡散))。つまり、プラズマ中での両極性拡散における粒子輸送に類似したキャリア輸送が行われている可能性があり、上述の電界勾配が与えられれば、正味のドリフト流は存在し得る。本研究では、エキシトントランジスタ内の電界分布をデバイスシミュレーションを用いて求め、エキシトンの輸送方向に平行な電界成分 E_x の差を外力と見立てて拡散方程式を解き、エキシトンの濃度分布を計算することで上記仮説の検証を行った。用いた式を以下に示す。

$$D \frac{\partial^2 n}{\partial x^2} + \frac{D}{k_b T} \frac{\partial}{\partial x} \left(n \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) + G - \frac{n}{\tau} = \frac{\partial n}{\partial t} \quad (1)$$

ここで n, τ, ϕ, G はそれぞれエキシトンの濃度、寿命、ポテンシャル、生成率である。 D は拡散係数、 $k_b T$ は熱エネルギーである。その結果、デバイス内の励起子輸送の定性的な記述に成功し、上述の機構に基づいた輸送がなされている可能性が示された。一方で、これまで報告されているエキシトントランジスタの動作結果を定量的に記述するには至らなかった。今後は励起子の歳差運動も考慮した形でのドリフト速度を求めるなどして、外場による励起子輸送の機構解明を目指す。

参考文献

- [1] N. Itagaki, K. Matsushima, D. Yamashita, H. Seo, K. Koga, M. Shiratani, *Mater. Res. Express*, 1, 036405, 2014.
- [2] N. Itagaki, T. Iwasaki, M. Watanabe, T. Den, US Patent 8,274,078, 2012.
- [3] Ryota Narishige, Kentaro Kaneshima, Daisuke Yamashita, Kunihiro Kamataki, Kazunori Koga, Masaharu Shiratani and Naho Itagaki, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 60, SAAB02, 2021.
- [4] Daichi Takahashi, Naoto Yamashita, Daisuke Yamashita, Takamasa Okumura, Kunihiro Kamataki, Kazunori Koga, Masaharu Shiratani and Naho Itagaki, *MRS Adv.*, 2022.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計19件（うち査読付論文 19件 / うち国際共著 4件 / うちオープンアクセス 1件）

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 -
1. 著者名 Chawarambwa Fadzai Lesley, Putri Tika Erna, Son Min-Kyu, Kamataki Kunihiro, Itagaki Naho, Koga Kazunori, Shiratani Masaharu	4. 巻 758
2. 論文標題 Graphene-Si3N4 nanocomposite blended polymer counter electrode for low-cost dye-sensitized solar cells	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemical Physics Letters	6. 最初と最後の頁 137920 ~ 137920
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cplett.2020.137920	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 Hwang Sung-Hwa, Okumura Takamasa, Kamataki Kunihiro, Itagaki Naho, Koga Kazunori, Shiratani Masaharu	4. 巻 109
2. 論文標題 Size and flux of carbon nanoparticles synthesized by Ar+CH4 multi-hollow plasma chemical vapor deposition	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Diamond and Related Materials	6. 最初と最後の頁 108050 ~ 108050
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.diamond.2020.108050	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, Koga Kazunori, Hao Yuan, Attri Pankaj, Okumura Takamasa, Kamataki Kunihiro, Itagaki Naho, Shiratani Masaharu, Oh Jun-Seok, Takabayashi Susumu, Nakatani Tatsuyuki	4. 巻 9
2. 論文標題 Time of Flight Size Control of Carbon Nanoparticles Using Ar+CH4 Multi-Hollow Discharge Plasma Chemical Vapor Deposition Method	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Processes	6. 最初と最後の頁 2~2
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/pr9010002	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 Hwang Sung-Hwa, Okumura Takamasa, Kamataki Kunihiro, Itagaki Naho, Koga Kazunori, Nakatani Tatsuyuki, Shiratani Masaharu	4. 巻 59
2. 論文標題 Low-stress diamond-like carbon films containing carbon nanoparticles fabricated by combining rf sputtering and plasma chemical vapor deposition	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 100906 ~ 100906
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/abbb20	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 Attri Pankaj, Teruki Anan, Arita Ryo, Okumura Takamasa, Tanaka Hayate, Yamashita Daisuke, Matsuo Kayo, Itagaki Naho, Kamataki Kunihiro, Koga Kazunori, Shiratani Masaharu, Kuchitsu Kazuyuki, Ishibashi Yushi	4. 巻 -
2. 論文標題 Plasma Treatment Effect on the Paramagnetic Species of Barley Seed Radical's Intensity: An EPR study	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Plasma Medicine	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) 10.1615/PlasmaMed.2020036353	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, Kamataki Kunihiro, Shiratani Masaharu, Koga Kazunori, Itagaki Naho, Nakamura Daisuke	4. 巻 1228
2. 論文標題 Synthesis of Yb3+/Ho3+ co-doped Y2O3 nanoparticles and its application to dye sensitized solar cells	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Molecular Structure	6. 最初と最後の頁 129479 ~ 129479
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.molstruc.2020.129479	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 Erna, Hao Yuan, Chawarambwa Fadzai Lesley, Seo Hyunwoong, Son Min Kyu, Kamataki Kunihiro, Itagaki Naho, Koga Kazunori, Shiratani Masaharu	4. 巻 1016
2. 論文標題 Effects of Activated Carbon Counter Electrode on Bifacial Dye Sensitized Solar Cells (DSSCs)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Materials Science Forum	6. 最初と最後の頁 863 ~ 868
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4028/www.scientific.net/MSF.1016.863	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 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 該当する

1. 著者名 K. Imoto, H. Wang, D. Yamashita, H. Seo, K. Koga, M. Shiratani, N. Itagaki	4. 巻 未定
2. 論文標題 Room-temperature fabrication of amorphous In ₂₀₃ :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 未定
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 L. Shi, N. Miyahara, D. Yamashita, H. Seo, J. Lyu, K. Koga, M. Shiratani, N. Itagaki	4. 巻 未定
2. 論文標題 Effects of Gas Pressure on Crystal Quality of (ZnO) _{0.9} (InN) _{0.1} Films Fabricated by Radiofrequency Magnetron Sputtering	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Phys. Conf. Ser.	6. 最初と最後の頁 未定
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 Muraoka Soichiro, Jiahao Lyu, Yamashita Daisuke, Kamataki Kunihiro, Koga Kazunori, Shiratani Masaharu, Itagaki Naho	4. 巻 in press
2. 論文標題 Effects of nitrogen impurity on zno crystal growth on Si substrates	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 MRS Advances	6. 最初と最後の頁 1~7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1557/adv.2019.28	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 Miyahara Nanoka, Urakawa Seichi, Yamashita Daisuke, Kamataki Kunihiro, Koga Kazunori, Shiratani Masaharu, Itagaki Naho	4. 巻 in press
2. 論文標題 Sputter Epitaxy of (ZnO) _x (InN) _{1-x} films on Lattice-mismatched Sapphire Substrate	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 MRS Advances	6. 最初と最後の頁 1~6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1557/adv.2019.17	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 Itagaki Naho, Takeuchi Kazuto, Miyahara Nanoka, Imoto Kouki, Seo Hyun Woong, Koga Kazunori, Shiratani Masaharu	4. 巻 941
2. 論文標題 Effects of Sputtering Pressure on (ZnO) _x (InN) _{1-x} Crystal Film Growth at 450 °C	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Materials Science Forum	6. 最初と最後の頁 2093~2098
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4028/www.scientific.net/MSF.941.2093	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 Miyahara Nanoka, Iwasaki Kazuya, Yamashita Daisuke, Nakamura Daisuke, Seo Hyun Woong, Koga Kazunori, Shiratani Masaharu, Itagaki Naho	4. 巻 941
2. 論文標題 Photoluminescence of (ZnO) _{0.82} (InN) _{0.18} Films: Incident Light Angle Dependence	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Materials Science Forum	6. 最初と最後の頁 2099 ~ 2103
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4028/www.scientific.net/MSF.941.2099	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 in press
2. 論文標題 Room-temperature fabrication of amorphous In ₂ O ₃ :Sn films with high electron mobility via nitrogen mediated amorphization	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Phys.: Conf. Ser.	6. 最初と最後の頁 in press
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 K. Imoto, D. Yamashita, K. Kamataki, K. Koga, M. Shiratani and N, Itagaki	4. 巻 0
2. 論文標題 Sputter deposition of low resistive amorphous In ₂ O ₃ :Sn films using nitrogen-mediated amorphization method: Effects of target-substrate distance	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of 40th International Symposium on Dry Process, P-62	6. 最初と最後の頁 P-62
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49件 (うち招待講演 15件 / うち国際学会 23件)

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 A novel semiconductor ZION for excitonic devices
3. 学会等名 Satellite meeting of AAPS-DPP2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 板垣奈穂
2. 発表標題 非晶質(仮) 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 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 ₂ O ₃ :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 Effects of surface polarity of ZnO substrates on epitaxial growth of magnetron sputtered (ZnO) _x (InN) _{1-x} 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, 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 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) _x (InN) _{1-x} 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 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 ₂ O ₃ :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) _x (InN) _{1-x} 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 Ar/N ₂ 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バッファー層の効果
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: 高温バッファー層の効果
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 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 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
2 . 発表標題 Inverse Stranski-Krastanov growth: a method for growth of single crystalline films beyond lattice-matching condition (Invited)
3 . 学会等名 Satellite Workshop of XXXIV ICPIG & ICRP-10 "New trends of plasma processes for thin films and related materials for the deep discussion on new trends of plasma processes" (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Advanced Methods of Thin Film Fabrication using Plasmas (Invited)
2 . 発表標題 M. Shiratani, K. Kamataki, K. Koga, N. Itagaki
3 . 学会等名 28th International Conference on Amorphous and Nanocrystalline Semiconductors (ICANS28) (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryota Narishige, Kentaro Kaneshima, Daisuke Yamashita, Kunihiro Kamataki, Kazunori Koga, Masaharu Shiratani, Naho Itagaki
2. 発表標題 Effects of substrates on the epitaxial growth of (ZnO) _x (InN) _{1-x} films
3. 学会等名 12th International Symposium on Advanced Plasma Science and Its Application for Nitrides and Nanomaterials (国際学会)
4. 発表年 2020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 (ZnO) _x (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 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) _x (InN) _{1-x} 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
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. Urakawa, N. Miyahara, D. Yamashita, K. Kamataki, K. Koga, M. Shiratani, N. Itagaki
2 . 発表標題 Sputter deposition of amorphous ZnAlON films with tunable bandgap
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. Urakawa, N. Miyahara, D. Yamashita, K. Kamataki, K. Koga, M. Shiratani, N. Itagaki
2 . 発表標題 Sputter deposition of wide bandgap (ZnO)x(AlN)1-x alloys: a new material system with tunable bandgap
3 . 学会等名 XXXIV International Conference on Phenomena in Ionized Gases (XXXIV ICPIG) & 10th International Conference on Reactive Plasmas (ICRP-10) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 N. Miyahara, S. Urakawa, D. Yamashita, K. Kamataki, K. Koga, M. Shiratani, N. Itagaki
2 . 発表標題 Sputter Epitaxy of (ZnO)x(InN)1-x Films on Sapphire Substrates
3 . 学会等名 XXXIV International Conference on Phenomena in Ionized Gases (XXXIV ICPIG) & 10th International Conference on Reactive Plasmas (ICRP-10) (国際学会)
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)x(InN)1-x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 S. Urakawa, K. Kaneshima, D. Yamashita, K. Kamataki, D. Nakamura, K. Koga, M. Shiratani, N. Itagaki
2. 発表標題 "Sputter deposition of wide-gap amorphous ZnAlON films with tunable bandgaps from 3.4 to 4.2 eV"
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 浦川聖市, 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 RFマグネトロンスパッタリングによる可変バンドギャップ半導体(ZnO) _x (AlN) _{1-x} の創成
3. 学会等名 令和元年度日本表面真空学会 九州支部学術講演会(九州表面・真空研究会2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮原奈乃華, 浦川聖市, 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 スパッタエピタキシーによるサファイア基板上(ZnO) _x (InN) _{1-x} 薄膜の2段階成長
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮原 奈乃華, 山下 大輔, 鎌滝 晋礼, 中村大輔, 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直上へのIn-rich (ZnO) _x (InN) _{1-x} 膜の作製
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Imoto, D. Yamashita, K. Kamataki, K. Koga, M. Shiratani and N. Itagaki
2. 発表標題 Fabrication of high-mobility amorphous In ₂ O ₃ :Sn films via nitrogen-mediated amorphization: effects of target-substrate distance
3. 学会等名 28th Annual Meeting of Material Research Society Japan
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 N. Itagaki, K. Imoto, N. Miyahara, D. Yamashita, K. Kamataki, K. Koga and M. Shiratani
2. 発表標題 Sputter Epitaxy of ZnO Based Compounds for Excitonic Devices Epitaxy of Compound Semiconductors via Inverse Stranski-Krastanov Mode: A Method of Single-Crystalline Film Growth
3. 学会等名 28th Annual Meeting of Material Research Society Japan (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 N. Itagaki, K. Imoto, N. Miyahara, D. Yamashita, K. Kamataki, K. Koga and M. Shiratani
2. 発表標題 Sputter Epitaxy of Compound Semiconductors via Inverse Stranski-Krastanov Mode: A Method of Single-Crystalline Film Growth beyond Lattice Matching Condition
3. 学会等名 28th Annual Meeting of Material Research Society Japan (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 N. Itagaki
2. 発表標題 Sputter epitaxy of high quality (ZnO) _x (InN) _{1-x} : a new semiconducting material for excitonic devices
3. 学会等名 2nd Asia-Pacific Conference on Plasma Physics (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Jiahao Lyu, Daisuke Yamashita, Kazunori Koga, Masaharu Shiratani, Naho Itagaki
2. 発表標題 Sputter epitaxy of single crystalline ZnO on 18%-lattice-mismatched sapphire using multi buffer layers fabricated via nitrogen mediated crystallization
3. 学会等名 2nd Asia-Pacific Conference on Plasma Physics
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 浦川 聖市, 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 マグネトロンスパッタによる擬2元系混晶(ZnO) _x (InN,AlN) _{1-x} のヘテロエピタキシー
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会 九州・沖縄・山口支部 支部大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nanoka Miyahara, Daisuke Yamashita, Daisuke Nakamura, Kazunori Koga, Masaharu Shiratani, Naho Itagaki
2. 発表標題 Catalyst-free growth of (ZnO) _{0.79} (InN) _{0.21} nanorods by RF magnetron sputtering
3. 学会等名 Materials Research Society 2018 Meeting & Exhibit
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Soichiro Muraoka, Jiahao Lyu, Daisuke Yamashita, Kunihiro Kamataki, Kazunori Koga, Masaharu Shiratani, Naho Itagaki
2. 発表標題 Effects of nitrogen impurity on sputtering growth of ZnO films on Si(111) substrates
3. 学会等名 Materials Research Society 2018 Meeting & Exhibit
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 井本幸希, 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 Ar/N2スパッタリングによる低抵抗アモルファスITO膜の作製：ターゲット - 基板間距離の影響
3. 学会等名 第35回 プラズマ・核融合学会 年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮原 奈乃華, 浦川 聖市, 山下 大輔, 鎌滝 晋礼, 中村大輔, 古閑 一憲, 白谷 正治, 板垣 奈穂
2. 発表標題 フラックス制御スパッタによるIn-rich (ZnO) _x (InN) _{1-x} 膜のヘテロエピタキシー
3. 学会等名 第35回 プラズマ・核融合学会 年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 村岡宗一郎, 呂佳豪, 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 RFマグネトロンスパッタ法を用いたSi(111)基板上でのZnO結晶成長における窒素不純物の効果
3. 学会等名 第35回 プラズマ・核融合学会 年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 呂 佳豪, 鎌滝 晋礼, 山下 大輔, 古閑 一憲, 白谷 正治, 板垣 奈穂
2. 発表標題 窒素添加結晶化法による格子不整合基板上へZnOエピタキシャル成長 窒素酸素共添加多段バッファー層の効果
3. 学会等名 第35回 プラズマ・核融合学会 年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Imoto, D. Yamashita, K. Kamataki, K. Koga, M. Shiratani and N, Itagaki
2. 発表標題 Sputter deposition of low resistive amorphous In ₂ O ₃ :Sn films using nitrogen-mediated amorphization method: Effects of target-substrate distance
3. 学会等名 40th International Symposium on Dry Process
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Naho Itagaki, M. Shiratani
2. 発表標題 Inverse Stranski-Krastanov Growth of Single Crystalline Films: A New Mode of Heteroepitaxy for Large Lattice Mismatched System
3. 学会等名 Int'l Conf. Processing Manufacturing Adv. Matter. (THERMEC2018) (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nanoka Miyahara, Liu Shi, Kazuya Iwasaki, Hyunwoong Seo, Kazunori Koga, Masaharu Shiratani, and Naho Itagaki
2. 発表標題 Room Temperature Photoluminescence from (ZnO) _{0.79} (InN) _{0.21} films fabricated by RF magnetron sputtering
3. 学会等名 Int'l Conf. Processing Manufacturing Adv. Matter. (THERMEC2018)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

九州大学研究者情報
<https://hyoka.ofc.kyushu-u.ac.jp/search/details/K003622/>
九州大学大学院システム情報科学研究院 情報エレクトロニクス部門 板垣研究室
<http://plasma.ed.kyushu-u.ac.jp/~inorganic/>
九州大学研究者情報
<http://hyoka.ofc.kyushu-u.ac.jp/search/details/K003622/>
電子材料工学研究室
<http://plasma.ed.kyushu-u.ac.jp/~inorganic/>
九州大学研究者情報
<http://hyoka.ofc.kyushu-u.ac.jp/search/details/K003622/>
電子材料工学研究室
<http://plasma.ed.kyushu-u.ac.jp/~inorganic/researchmap>
<https://researchmap.jp/itagakinaho>

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
研究分担者	白谷 正治 (Shiratani Masaharu) (90206293)	九州大学・システム情報科学研究院・教授 (17102)	

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