

## 戦略的国際共同研究プログラム(SICORP)

日本-V4 共同研究

終了報告書 概要

1. 研究課題名：「高い安定性を有する GaN-MOS トランジスタスイッチ」
2. 研究期間：2015年11月～2019年3月
3. 主な参加研究者名：  
日本側チーム

	氏名	役職	所属	研究分担
研究代表者	橋詰 保	教授	北海道大学・量子集積エレクトロニクス研究センター	MOS界面制御とMOS-HEMTへの応用
主たる共同研究者	赤澤 正道	准教授	同上	MOS界面の評価
主たる共同研究者	佐藤 威友	准教授	同上	表面制御プロセス
研究期間中の全参加研究者数			12名	

## スロバキア側チーム

	氏名	役職	所属	研究分担
研究代表者	Jan Kuzmik	Head of department of III-V semiconductors	Slovak Academy of Science	InGaN/AlGaIn/GaN MOS-HEMTの作製と評価
主たる共同研究者	Milan Tapajna	Deputy Head	Slovak Academy of Science	MOS界面の評価
研究参加者	Michal Blaho	Researcher	Slovak Academy of Science	MOS-HEMTの作製プロセス
研究参加者	Dagmar Gregusova	Researcher	Slovak Academy of Science	MOS-HEMTの性能評価
研究期間中の全参加研究者数			4名	

## ポーランド側チーム

	氏名	役職	所属	研究分担
研究代表者	Boguslawa Adamowicz	Associate Professor	Silesian University of Technology	絶縁膜/AlGaIn界面評価
研究参加者	Maciej Matys	Posdoc Researcher	Silesian University of Technology	数値計算によるMOS界面評価
研究期間中の全参加研究者数			2名	

## ハンガリー側チーム

	氏名	役職	所属	研究分担
研究代表者	Lajos Toth	Senior Research Fellow	Hungarian Academy of Sciences	絶縁膜/AlGaIn界面のTEM評価
主たる共同研究者	Bela Pecz	Director of MAF	Hungarian Academy of Sciences	絶縁膜/AlGaInの構造解析
研究期間中の全参加研究者数			2名	

#### 4. 国際共同研究の概要

窒化ガリウム (GaN) は Si の 10 倍の絶縁破壊電界強度を持つため、高耐圧・低抵抗動作を可能とし、超低損失の次世代電力変換用途としてトランジスタ開発が世界各国で活発に展開されている。トランジスタには金属-酸化膜-半導体 (MOS) ゲート構造の適用が必須であるが、しきい値電圧 ( $V_{th}$ ) 変動などの不安定現象が解決されておらず、MOS 型 GaN トランジスタの実用化を阻害している。本研究は、MOS ゲート構造の界面電子準位を制御し、窒化ガリウム MOS 型高電子移動度トランジスタ (GaN MOS-HEMT) の動作安定性を飛躍的に向上させることを目的とした。具体的には、MOS 界面特性の詳細評価と界面制御法の開発 (日本側)、厳密計算法による界面欠陥準位解析 (ポーランド側)、界面構造の透過電子顕微鏡解析 (ハンガリー側)、界面欠陥準位制御と新素子構造に基づく MOS-HEMT の試作と評価 (スロバキア側) を研究の柱とした。

#### 5. 国際共同研究の成果

##### 5-1 国際共同研究の学術成果および実施内容

デバイス作製・評価に強いスロバキアチーム、数値計算法による界面欠陥準位解析に強いポーランドチーム、透過電子顕微鏡解析に強いハンガリーチームと北大の MOS 界面制御技術が相補的・機能的に連携した結果、 $Al_2O_3/GaN$  および  $Al_2O_3/AlGaN$  構造の界面欠陥準位の特性理解が進展し、ゲート電極形成後の低温熱処理 (Post-metallization annealing: PMA) プロセスの開発により Si MOS 構造と同等の優れた界面特性を得ることが可能になった。また、PMA を MOS-HEMT に適用し、バイアス・高温ストレスを加えても、0.3V 以下のしきい値電圧シフトと 1 nA/mm 以下のドレイン漏れ電流を実現し、極めて安定なトランジスタ動作を達成することができた。これらの成果は、国際共著論文 8 編として公表され、また国内会議・国際会議において多くの招待講演を招へいされた。

##### 5-2 国際共同研究による相乗効果

日本側の MOS 界面解析・制御技術と V4 側の TEM 解析技術、数値計算技術、新 HEMT 構造技術を連携させることにより、以下の成果が達成できた。ハンガリー側の TEM 解析との連携により、 $Al_2O_3/GaN$  構造における PMA 効果の機構が明らかになった。また、ポーランド側との連携により、AlGaN 表面に電子準位の空間分布が存在することが MOSHEMT のしきい値変動の主因であることを明らかにした。さらに、スロバキア側との連携により、新しい InGaN/AlGaN/GaN 構造による MOS-HEMT の動作安定性の向上を達成することができた。このように本共同研究では、単一国では達成不可能だった研究成果を得ることができた。

##### 5-3 国際共同研究成果の波及効果と今後の展望

本共同研究の主たる成果は、Si MOS 構造と匹敵する優れた  $Al_2O_3/GaN$  界面特性、m 面 GaN に形成した MOS 構造の  $V_{FB}$  安定性、新しい InGaN/AlGaN/GaN 構造 MOS-HEMT のノーマリオフ動作、GaN 基板上 MOS-HEMT の優れた動作安定性である。これらの成果は、化合物半導体で初となる MOS トランジスタの実用化に扉を開け、5G 世代に対応可能な MOS-HEMT の性能指標を示すことができた。さらに、日本側も V4 側も民間企業との共同研究や国支援プロジェクトがスタートしており、実用化に向けて更なる研究進展が見込まれる。

Strategic International Collaborative Research Program (SICORP)  
 Japan – V4 Joint Research Program  
 Executive Summary of Final Report

1. Project title : 「Highly Safe GaN Metal-Oxide-Semiconductor Transistor Switch」
2. Research period : November 2015 ~ March 2019
3. Main participants :  
     Japan-side

	Name	Title	Affiliation	Role in the research project
PI	Tamotsu Hashizume	Professor	Hokkaido Univ.	MOS interface control for HEMTs
Co-PI	Masamichi Akazawa	Associate Professor	Hokkaido Univ.	Characterization of MOS interfaces
Co-PI	Taketomo Sato	Associate Professor	Hokkaido Univ.	Surface control process
Total number of participants throughout the research period: 12				

Slovakia-side

	Name	Title	Affiliation	Role in the research project
PI	Jan Kuzmik	Head of department of III - V semiconductors	Slovak Academy of Science	InGaN/AlGaIn/GaN MOS-HEMT
Co-PI	Milan Tapajna	Deputy Head	Slovak Academy of Science	Characterization of MOS interfaces
Collaborator	Michal Blaho	Researcher	Slovak Academy of Science	Fabrication of MOS-HEMT
Collaborator	Dagmar Gregusova	Researcher	Slovak Academy of Science	Characterization of MOS-HEMT
Total number of participants throughout the research period: 4				

Poland-side

	Name	Title	Affiliation	Role in the research project
PI	Boguslawa Adamowicz	Associate Professor	Silesian University of Technology	Interface characterization of insulators/AlGaIn
Collaborator	Maciej Matys	Posdoc. Researcher	Silesian University of Technology	Numerical characterization of MOS interfaces
Total number of participants throughout the research period: 2				

Hungary-side

	Name	Title	Affiliation	Role in the research project
PI	Lajos Toth	Senior Research Fellow	Hungarian Academy of Sciences	TEM analysis of insulators/AlGaIn interfaces
Co-PI	Bela Pecz	Director of MAF	Hungarian Academy of Sciences	Structural analysis of insulators/AlGaIn interfaces
Total number of participants throughout the research period: 2				

#### 4. Summary of the international joint research

Since gallium nitride (GaN) has high critical electric field of over  $3 \text{ MV cm}^{-1}$  (more than 10 times higher than Si), GaN-based transistors are considered to be the emerging front runners as next-generation power-switching devices with improved performance in terms of power, operation speed, and efficiency. A metal-oxide-semiconductor (MOS) gate structure is inevitable for such a power transistor. However, instability issues such as threshold voltage ( $V_{\text{TH}}$ ) fluctuation make practical use of GaN MOS transistors difficult. By controlling interface states in MOS gate structures, the purpose of the project is to improve the operation stability of GaN MOS high electron mobility transistors (HEMTs). Specifically, the Japan team characterized MOS interface properties mainly using a capacitance-voltage method, and then developed an interface control technology. The Poland and Hungary teams addressed the analysis of interface defect levels by a rigorous numerical simulation and the structural analysis of MOS interfaces by a transmission electron microscope, respectively. Furthermore, the Slovakia team fabricated and characterized GaN MOS-HEMTs based on an interface defect control process and a novel device structure.

#### 5. Outcomes of the international joint research

##### 5-1 Scientific outputs and implemented activities of the joint research

In this project, the complementary and functional collaboration built up novel device technologies combined with interface control schemes. We found that the post-metallization annealing (PMA) at  $300^\circ\text{C}$  in  $\text{N}_2$  was effective in drastic reduction of electronic state densities at the  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{GaN}(\text{AlGaIn})$  interfaces, leading to an excellent interface property of the GaN MOS structure nearly equal to the standard Si MOS system. By applying the PMA process to the  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{AlGaIn}/\text{GaN}$  HEMT grown on GaN substrate, we observed highly operation stability with a small  $V_{\text{TH}}$  shift ( $< 0.3\text{V}$ ) and low leakage current ( $1 \text{ nA/mm}$ ) under forward-bias and high-temperature stresses.

##### 5-2 Synergistic effects of the joint research

In cooperation with the precise TEM analysis by the Hungary team, a mechanism of the PMA effect was partly clarified. It was found by a combination between Japan-side C-V characterization and Poland-side simulation method that a spatial distribution of electronic states at the AlGaIn surface was dominantly responsible for the  $V_{\text{TH}}$  fluctuation of MOS-HEMTs. In addition, the collaboration with the Slovakia team achieved stable operation of the MOS-HEMT using a novel  $\text{InGaIn}/\text{AlGaIn}/\text{GaN}$  structure. These results have not been achieved without cooperation between Japan and V4 sides.

##### 5-3 Scientific, industrial or societal impacts/effects of the outputs

The main results obtained in this project include excellent interface properties of  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{GaN}(\text{AlGaIn})$  structures nearly equal to the Si MOS structure, good  $V_{\text{FB}}$  stability of the  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{GaN}$  structure fabricated on the m-plane GaN, a normally-off operation of the GaN MOS-HEMT using a novel  $\text{InGaIn}/\text{AlGaIn}/\text{GaN}$  structure and excellent operation stability of  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -gate MOS-HEMT on GaN substrate. These achievements will contribute to the practical use of GaN MOS-HEMTs with figures of merit in the 5G wireless system. On the basis of results obtained, in addition, Japan and V4 sides will start some national projects and joint researches with private companies.

## 国際共同研究における主要な研究成果リスト

## 1. 論文発表等

\*原著論文 (相手側研究チームとの共著論文)

・査読有り：発表件数：計 8 件

1. M. Matys, B. Adamowicz, A. Domanowska, A. Michalewicz, R. Stoklas, M. Akazawa, Z. Yatabe, and T. Hashizume, "On the origin of interface states at oxide/III-nitride heterojunction interfaces", *J. Appl. Phys.* **120**, 225305-1-12 (2016). 10.1063/1.4971409 査読あり
2. M. Matys, R. Stoklas, J. Kuzmik, B. Adamowicz, Z. Yatabe, and T. Hashizume, "Characterization of capture cross sections of interface states in dielectric/III-nitride heterojunction structures", *J. Appl. Phys.* **119**, 205304-1-7 (2016). 10.1063/1.4952708 査読あり
3. R. Stoklas, D. Gregušová, M. Blaho, K. Fröhlich, J. Novák, M. Matys, Z. Yatabe, P. Kordoš and T. Hashizume, "Influence of oxygen-plasma treatment on AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> metal-oxide-semiconductor heterostructure field-effect transistors with HfO<sub>2</sub> by atomic layer deposition: leakage current and density of states reduction", *Semicond. Sci. Technol.* **32**, 045018 (2017). 査読あり
4. M. Matys, B. Adamowicz, S. Kaneki, K. Nishiguchi and T. Hashizume, "Disorder induced gap states as a cause of threshold voltage instabilities in Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> metal-oxide-semiconductor high-electron-mobility transistors", *J. Appl. Phys.* **122**, 224504 (2017). 10.1063/1.5000497 査読あり
5. T. Hashizume, K. Nishiguchi, S. Kaneki, J. Kuzmik and Z. Yatabe, "State of the art on gate insulation and surface passivation for Ga<sub>N</sub>-based power HEMTs", *Mat. Sci. Semicond. Process.* **78**, 85-95 (2018). 10.1016/j.mssp.2017.09.028 査読あり
6. M. Matys, K. Nishiguchi, B. Adamowicz, J. Kuzmik and T. Hashizume, "Enhancement of channel electric field in AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> multi-nanochannel high electron mobility transistors", *J. Appl. Phys.* **124**, 224502 (2018). 10.1063/1.5056194 査読あり
7. M. Ťapajna, J. Drobný, F. Gucmann, K. Hušková, D. Gregušová, T. Hashizume, and J. Kuzmík, "Impact of oxide/barrier charge on threshold voltage instabilities in AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> metal-oxide-semiconductor heterostructures", *Mat. Sci. Semicond. Process.* **91**, 356-361 (2019). 10.1016/j.mssp.2018.12.012 査読あり
8. D. Gregušová, L. Tóth, O. Pohorelec, S. Hasenöhrl, Š. Haščík, I. Cora, Z. Fogarassy, R. Stoklas, A. Seifertová, M. Blaho, A. Laurenčíková, T. Oyobiki, B. Pécz, T. Hashizume, and J. Kuzmík, "InGa<sub>N</sub>/(Ga<sub>N</sub>)/AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> normally-off metal-oxide-semiconductor high- electron mobility transistors with etched access region", *Jpn. J. Appl. Phys.* **58**, SCCD21 (2019). 10.7567/1347-4065/ab06b8 査読あり

・査読無し：発表件数：計 0 件

\*原著論文 (相手側研究チームを含まない日本側研究チームの論文)：発表件数：計 7 件

・査読有り：発表件数：計 7 件

1. Z. Yatabe, J. T. Asubar and T. Hashizume, "Insulated gate and surface passivation structures for Ga<sub>N</sub>-based power transistors, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **49**, 3933001-1-19 (2016). 10.1088/0022-3727/49/39/393001 査読あり
2. S. Kaneki, J. Ohira, S. Toiya, Z. Yatabe, J. T. Asubar and T. Hashizume, "Highly-stable and low-state-density Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Ga<sub>N</sub> interfaces using epitaxial n-Ga<sub>N</sub> layers grown on free-standing Ga<sub>N</sub> substrates", *Appl. Phys. Lett.* **109**, 162104-1-5 (2016). 10.1063/1.4965296 査読あり

3. S. Ozaki, K. Makiyama, T. Ohki, N. Okamoto, S. Kaneki, K. Nishiguchi, N. Hara and T. Hashizume, "Effects of Air-annealing on DC Characteristics of InAlN/GaN MOS-HEMTs Using ALD- $\text{Al}_2\text{O}_3$ ", Appl. Phys. Express **10**, 061001 (2017). 10.7567/APEX.10.061001 査読あり
4. Y. Kumazaki, K. Uemura, T. Sato and T. Hashizume, "Precise thickness control in recess etching of AlGaIn/GaN hetero-structure using photocarrier-regulated electrochemical (PREC) process", J. Appl. Phys. **121**, 184501 (2017). 10.1063/1.4983013 査読あり
5. K. Nishiguchi, S. Kaneki, S. Ozaki and T. Hashizume, "Current linearity and operation stability in  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -gate AlGaIn/GaN MOS-HEMTs", Jpn. J. Appl. Phys. **56**, 101001 (2017). 10.7567/JJAP.56.101001 査読あり
6. T. Hashizume, S. Kaneki, T. Oyobiki, Y. Ando, S. Sasaki and K. Nishiguchi, "Effects of postmetallization annealing on interface properties of A  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{GaIn}$  structures", Appl. Phys. Express **11**, 124102 (2018). 10.7567/APEX.11.124102 査読あり
7. Y. Ando, S. Kaneki and T. Hashizume, "Improved operation stability of  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{AlGaIn}/\text{GaIn}$  MOS high-electron-mobility transistors grown on GaN substrates", Appl. Phys. Express **12**, 024002 (2019). 10.7567/1882-0786/aafded 査読あり

・ 査読無し：発表件数：計 0 件

例) 該当なし

\* その他の著作物 (相手側研究チームとの共著総説、書籍など)：発表件数：計 0 件

例) 該当なし

\* その他の著作物 (相手側研究チームを含まない日本側研究チームの総説、書籍など)：発表件数：計 0 件

例) 該当なし

## 2. 学会発表

\* 口頭発表 (相手側研究チームとの連名発表)

発表件数：計 5 件 (うち招待講演：0 件)

1. M. Matys, S. Kaneki, J. Kuzmik, B. Adamowicz, Z. Yatabe and T. Hashizume "Frequency Dispersion in Capacitance-Voltage Characteristics of  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{AlGaIn}/\text{GaIn}$  Heterostructures", 2016 Asia-Pacific Workshop on Fundamentals and Applications of Advanced Semiconductor Devices (AWAD2016), Hakodate Kokusai Hotel, Hakodate, Japan, 7/3-6, 2016.
2. M. Ľapajna, R. Stoklas, D. Gregušová, L. Válik, F. Gucmann, K. Hušková, Š. Haščík, K. Fröhlich, L. Tóth, B. Pécz, M. Mičušík, F. Brunner, T. Hashizume, and J. Kuzmík, "On the origin of surface donors in AlGaIn/GaN metal-oxide-semiconductor heterostructures with  $\text{Al}_2\text{O}_3$  gate dielectric: Correlation of electrical, structural, and chemical properties", 2016 International Workshop on Nitride Semiconductors (IWN-1016), Hilton Orlando Lake Buena Vista, Florida, USA, 10/2-7, 2016.
3. M. Ľapajna, L. Válik, D. Gregušová, K. Fröhlich, F. Gucmann, T. Hashizume, and J. Kuzmík, "Threshold voltage instabilities in AlGaIn/GaN MOS-HEMTs with ALD-grown  $\text{Al}_2\text{O}_3$  gate dielectrics: Relation to distribution of oxide/semiconductor interface state density", International Conference on Advanced Semiconductor Devices And Microsystems (ASDAM '16), Smolenice Castle, House of Scientists of Slovak Academy of Sciences, Smolenice, Slovakia, Nov. 13–16, 2016.
4. M. Matys, K. Nishiguchi, B. Adamowicz and T. Hashizume, "Control of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  MOS Interfaces

Fabricated on m-plane GaN Surfaces Nature of oxide/III-N defects: Disorder induced gap state continuum vs. border traps”, 34th International Conference on the Semiconductor Physics (ICPS-2018), the Corum conference center, Montpellier, France, July 29-Aug. 3, 2018.

5. Milan Ľapajna, Jakub Drobný, Filip Guemann, Kristína Hušková, Tamotsu Hashizume, and Ján Kuzmík, “Impact of oxide/barrier fixed charge on threshold voltage instabilities in AlGaIn/GaN metal-oxide-semiconductor heterostructures”, International Workshop on Nitride Semiconductors (IWN-2018), Ishikawa Ongakudo, Kanazawa, Nov. 11-16, 2018.

\* 口頭発表 (相手側研究チームを含まない日本側研究チームの発表)

発表件数 : 計 16 件 (うち招待講演 : 8 件)

1. T. Sato, M. Akazawa and T. Hashizume (Invited), "Interface control technologies for high-power GaN transistors", Society of Photographic Instrumentation Engineers (SPIE), Photonics West, The Moscone Center, San Francisco, CA, Feb. 2016/2/17.
2. 西口賢弥、橋詰保、「高温アニールプロセスが GaN MOSFET 特性に与える影響」、第 63 回応用物理学会春季学術講演会、東工大、2016/3/22.
3. T. Hashizume, T. Sato (Invited), "Interface control technologies for GaN power transistors", 8th International Symposium on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterials, Nagoya University, 2016/3/9.
4. Kenya Nishiguchi, Joji Ohira, Syota Kaneki, Syota Toiya, and Tamotsu Hashizume, “Controllability improvement of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-gate structure for GaN transistors”, The 43rd International Symposium on Compound Semiconductor (ISCS-2016), Toyama International Conference Center, 6/26-30, 2016.
5. Z.Yatabe, J. T. Asubar, Y. Nakamura, T. Hashizume, “Effects of Electronic States at Insulator/AlGaIn Interfaces on Threshold Voltage Instability of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/AlGaIn/GaN Structures”, 2016 International Conference on Solid-State Devices and Materials (SSDM2016), Tsukuba International Congress Center, 9/26-29, 2016.
6. T. Hashizume (Invited), “Surface passivation structures for GaN power transistors”, Advanced Metallization Conference 2016 (ADMETA-2016), Tokyo University, 10/20-10/21, 2016.
7. T. Hashizume (Invited), "Improved MOS gate control for GaN power transistors", 3rd Intensive Discussion on Growth of Nitride Semiconductors, Tohoku Univ., Sendai, Japan, 1/17-1/18, 2017.
8. Kenya Nishiguchi, Syota Kaneki, Tamotsu Hashizume, “Improved MOS gate control in Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/AlGaIn/GaN HEMTs with reverse-bias annealing”, 12th International Conference on Nitride Semiconductors (ICNS-12), Congress Center in Strasbourg (France) from July 24 to 28, 2017.
9. 橋詰保 (招待講演)、「GaN 系トランジスタにおける界面制御」、応用物理学会応用電子物性分科会研究会、大阪大学大学院基礎工学研究科シグマホール、2017 年 6 月 8 日.
10. T. Sato, K. Uemura and T. Hashizume (Invited), “Improved wet etching processes for GaN electron Devices”, 2017 Materials Research Society Fall Meeting, EM04: Wide- and Ultra-Wide-Bandgap Materials and Device, Hynes Convention Center, Boston, USA, 2017-11-26-12-1.
11. Shota Kaneki and Tamotsu Hashizume, “Control of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> MOS Interfaces Fabricated on m-plane GaN Surfaces”, International Workshop on Nitride Semiconductors (IWN-2018), Ishikawa Ongakudo, Kanazawa, Nov. 11-16, 2018.
12. Yuji Ando, Shota Kaneki, and Tamotsu Hashizume, “Gate controllability in Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-gate AlGaIn/GaN HEMTs grown on GaN substrates”, International Workshop on Nitride Semiconductors (IWN-2018), Ishikawa Ongakudo, Kanazawa, Nov. 11-16, 2018.
13. Tatsuya Oyobiki and Tamotsu Hashizume, “Characterization of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> MOS structures fabricated

on high-temperature annealed GaN surfaces”, International Workshop on Nitride Semiconductors (IWN-2018), Ishikawa Ongakudo, Kanazawa, Nov. 11-16, 2018.

14. 橋詰保 (招待講演)、「p-GaN に形成した金属/MOS 接合の特性評価」、応用物理学会・結晶工学分科会第 149 回研究会、2018 年 6 月 15 日、名古屋大学東山キャンパス ES 総合館.
15. 橋詰保 (招待講演)、「GaN 絶縁ゲート構造の進展と課題-絶縁膜・界面・プロセス-」、応用物理学会・先進パワー半導体分科会第 4 回個別討論会、大阪市中央公会堂、2018 年 7 月 30 日.
16. 橋詰保 (招待講演)、「GaN MOSFET の絶縁ゲート技術」、第 24 回電子デバイス界面テクノロジー研究会、東レ総合研修センター、三島市、2019 年 1 月 25 日.

\* ポスター発表 (相手側研究チームとの連名発表)

発表件数 : 計 5 件

1. Maciej Matys, Boguslawa Adamowicz, Roman Stoklas, Masamichi Akazawa, Zenji Yatabe, Tamotsu Hashizume, "Nature and origin of interface states at dielectric/III-N heterojunction interfaces", 2015 Material Research Society Fall Meeting, Boston, 2015/12/1.
2. M. Matys, S. Kaneki, B. Adamowicz, J. Kuzmik and T. Hashizume, "Characterization of Interface States from Frequency Dispersion in Capacitance-Voltage Curves of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/AlGaIn/GaN Heterostructures", 2016 International Workshop on Nitride Semiconductors (IWN-1016), Hilton Orlando Lake Buena Vista, Florida, USA, 10/2-7, 2016.
3. M. Matys, S. Kaneki, B. Adamowicz, J. Kuzmik and T. Hashizume, "Analysis of temperature dependent frequency dispersion in C-V curves of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/AlGaIn/GaN structures based on the disorder-induced gap-state model", 12th Topical Workshop on Heterostructure Microelectronics (TWHM-2017), August 28-31, 2017, Hotel Kyocera, Kirishima, Japan.
4. D. Gregušová, M. Blaho, P. Šichman, Š. Haščík, S. Hasenöhrl, R. Stoklas, A. Laurenčíková, K. Fröhlich, L. Tóth, B. Pécz, F. Brunner, J. Wurfl, T. Hashizume, and J. Kuzmík, "Threshold voltage controllability and stability in InGaIn/AlGaIn/GaN MOS HEMTs", 12th Topical Workshop on Heterostructure Microelectronics (TWHM-2017), August 28-31, 2017, Hotel Kyocera, Kirishima, Japan.
5. Maciej Matys, Kenya Nishiguchi, Boguslawa Adamowicz, Jan Kuzmik, and Tamotsu Hashizume, "Enhancement of channel electric field in AlGaIn/GaN multi-nanochannel high electron mobility transistors", International Workshop on Nitride Semiconductors (IWN-2018), Ishikawa Ongakudo, Kanazawa, Nov. 11-16, 2018.

\* ポスター発表 (相手側研究チームを含まない日本側研究チームの発表)

発表件数 : 計 3 件

1. Syota Kaneki, Zenji Yatabe, Kenya Nishiguchi, Tamotsu Hashizume, "Threshold voltage shifts induced by acceptor-like interface states in Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/AlGaIn/GaN HEMTs", 12th International Conference on Nitride Semiconductors (ICNS-12), Congress Center in Strasbourg (France) from July 24 to 28, 2017.
2. Taketomo Sato, Keisuke Uemura, Yusuke Kumazaki, Tamotsu Hashizume, "Precise thickness control in recess-etching for normally-off AlGaIn/GaN HEMTs using a low damage photo-electrochemical reaction", 12th International Conference on Nitride Semiconductors (ICNS-12), Congress Center in Strasbourg (France) from July 24 to 28, 2017.
3. Kenya Nishiguchi, Shota Kaneki, and Tamotsu Hashizume, "Effects of bias annealing on current linearity of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/AlGaIn/GaN MOS HEMTs", 12th Topical Workshop on Heterostructure

Microelectronics (TWHM-2017), August 28-31, 2017, Hotel Kyocera, Kirishima, Japan.

**3. 主催したワークショップ・セミナー・シンポジウム等の開催**  
該当なし

**4. 研究交流の実績 (主要な実績)**

【合同ミーティング】

- 1) 2016年6月2日
  - ・進捗状況報告と共同研究計画の確認
  - ・スロバキア科学アカデミー (SAS)、Bratislava, Slovakia
- 2) 2017年8月28日
  - ・共同研究計画に関する議論
  - ・ホテル京セラ、霧島市
- 3) 2018年11月1日
  - ・進捗状況報告と共同研究計画に関する議論
  - ・北大量子集積エレクトロニクス研究センター、札幌市

【研究者の受入】

- 1) 2017年1月7日～3月6日  
SAS から研究員 1 名 (Mihalo Blaho 博士) が北大量子集積エレクトロニクス研究センターに滞在し、共同研究の中心である MOS 構造作製、トランジスタ作製を実施し、かつ、その結果に関して集中的に議論した。
- 2) 2017年9月1日～9月12日  
SAS から研究員 1 名 (Dagmar Gregušová 博士) が北大量子集積エレクトロニクス研究センターに滞在し、MOS 構造作製と評価に関して議論した。
- 3) 2017年9月4日～9月14日  
V4 側の Adamowicz 准教授 (ポーランド) が北大量子集積エレクトロニクス研究センターに滞在し、DIGS モデルによる数値計算アプローチに関して議論した。
- 4) 2018年11月6日～11月22日  
V4 側の Adamowicz 准教授 (ポーランド) が北大量子集積エレクトロニクス研究センターに滞在し、MOS 界面準位評価の数値計算アプローチに関して議論した。
- 5) 2018年11月19日～11月22日  
SAS から研究員 1 名 (Dagmar Gregušová 博士) が北大量子集積エレクトロニクス研究センターに滞在し、MOS-HEMT 評価に関して議論した。

**5. 特許出願**

研究期間累積出願件数 : 0 件

**6. 受賞・新聞報道等**

- 1) 2016年9月13日：応用物理学会優秀論文賞、橋詰保、赤澤正道、佐藤威友
- 2) 2018年9月18日：応用物理学会フェロー表彰、橋詰保

**7. その他**

特になし