

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 17 日現在

機関番号：82108

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25249054

研究課題名(和文) 巨大分極電荷を利用する新機能ダイヤモンド電子デバイスの開発

研究課題名(英文) Development of new diamond electron device using huge polarization charge

研究代表者

小出 康夫 (Koide, Yasuo)

国立研究開発法人物質・材料研究機構・技術開発・共用部門・部門長/理事

研究者番号：70195650

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、正孔濃度の比較的高い表面伝導層を持つ特徴を活かすために、高性能なダイヤモンド電界効果トランジスタ(FET)を開発することであった。原子層堆積法酸化アルミニウム/スパッタリング法高誘電率酸化膜からなる2層積層ゲート構造を用いて2層酸化膜内正負固定電荷を制御することによりノーマリオン/オフモード動作を制御可能なプロセス法を構築し、それらFETを組み合わせた論理回路チップの開発に世界で初めて成功した。同時に、伝導チャンネル内正孔発生メカニズムを微細構造解析を通して解明するとともに大きなドレイン電流を持つAlN膜ゲート構造を用いたダイヤモンドヘテロ接合型FETの開発にも成功した。

研究成果の概要(英文)：The purpose this research was development of high-performance diamond field-effect transistor (FET) in order to use an advantage of high-density hole carriers in surface conductive layer. The logic circuit chip of diamond was successfully developed for the first time by developing processes to fabricate normally-on/off mode FETs and controlling the positive and negative charge density in the stack gate oxide. In addition, the excellent AlN/diamond heterojunction FET with drain current same as those of the stack oxide gate FETs was developed by understanding the transport mechanism of p-type channel based on the microstructure analysis and the transfer doping model.

研究分野：材料工学、電子材料工学、ナノ加工学

キーワード：ダイヤモンド 電界効果トランジスタ 酸化物 酸化物界面 微細構造解析 2次元正孔伝導 水素終端表面 論理回路

1. 研究開始当初の背景

ダイヤモンドは半導体材料の中で最も機械的強度が強く、最も熱伝導性が高く、最も熱的・化学的に安定な究極の半導体材料であり、高温・極限環境、および高電力デバイスとしての応用が期待される。しかしながら、n型およびp型ドーパントであるリン(P)およびボロン(B)のイオン化エネルギーは、それぞれ600および370 meVもの大きな値であるため、室温においては、電気伝導を担うキャリア(電子または正孔)がほとんど存在しない。これはダイヤモンド半導体を電子材料として使うときの大きな欠点の一つである。従って、室温においてダイヤモンド内に電気伝導キャリアを発生させ、その濃度を制御するための原理の発掘・構築は、半導体工学上の大きな挑戦であり、ダイヤモンドの欠点を打破するインパクトを与えるものと位置づけられる。これまでこの目的に沿って、小さなイオン化エネルギーを持つドーパントの探索が行われてきたが、未だ発見されておらず、現時点では室温での十分なキャリア発生は不可能と考えられている。

2. 研究の目的

本申請においては、上記したダイヤモンドの欠点を解決するアイデアとして、強誘電体及び高誘電率の誘電体(高誘電体と表記する)薄膜を持つ自発分極特性を利用して、電気伝導キャリアを確保・制御する原理の実証を目的とする。最終目標は、電界効果トランジスタ素子を試作することによって、原理実証ともにそのメカニズムを理解することによって、ダイヤモンドのみならず、ワイドギャップ半導体の界面キャリア制御の新しい学問学理を構築することを目標とする。具体的には、以下に記す2種類の誘電体からなる異種接合構造を用いる。(1) 酸化物系の強・高誘電体薄膜の自発および強誘電分極特性に基づく大きな分極電荷密度の電界依存性を利用する。(2) III族窒化物半導体の自発分極特性に基づく分極電荷を利用し、静電容量の電界依存性を利用する。

3. 研究の方法

(1) 強・高誘電体/ダイヤモンド異種接合

研究代表者らは、強誘電体薄膜チタン酸ジルコニウム鉛(PZT)/ダイヤモンド接合および高誘電体薄膜チタン酸ストロンチウム(SrTiO₃)/ダイヤモンド接合の作製およびその特性評価を進めてきた。反応性スパッタリング法によって強誘電相を持つPZT薄膜を得るためには、600°C以上のポスト熱処理が必要であり、ダイヤモンドとの界面反応を防ぐために、Al₂O₃/SrTiO₃多層膜またはCaF₂膜が反応防止層として必要であることが分かっている。従って、未だ強誘電体/ダイヤモンド直接接合作製の成功には至っていない。また、ほとんどの強誘電体のバンドギャップは、5 eV以下であり、ダイヤモンドとの価電子帯

におけるバンド不連続量が小さく、正孔に対する絶縁層として振る舞うことが難しいことがわかっている。この成果を踏まえて、強誘電体と高誘電体の二つの材料系で進める。強・高誘電体/ダイヤモンド接合キャパシタの静電容量特性や電気伝導特性からキャリア濃度制御性の実証を試み、更に電界効果トランジスタの試作・実証からキャリア制御性のメカニズムを解明する。

(2) III族窒化物半導体AlN異種接合

研究代表者らは、有機金属化合物気相成長法により作製したAlN/ダイヤモンド異種接合を利用した電界効果トランジスタの動作に世界で初めて成功している。AlN/ダイヤモンド界面に発生する正孔キャリアのメカニズムを解明することをまず目標とする。

研究体制は、研究代表者の小出を中心とする物質・材料研究機構・機能性材料研究拠点(廖、井村)を研究分担者とし、ナノテクノロジー融合ステーション(津谷)を連携研究者とした研究チームを構成する。

4. 研究成果

当グループが開発してきたダイヤモンド/AlNヘテロ接合型電界効果トランジスタ(FET)のp型伝導チャネルが、水素・アンモニア処理によるダイヤモンド表面の水素終端の形成によることを明らかにした。2層積層誘電体ゲートダイヤモンドトランジスタの開発に成功した。具体的には以下の通りまとめられる。

- (1) 原子層堆積法により作製したHfO₂をゲート絶縁膜に用いたMOS型ダイヤモンドFETの開発に初めて成功した。
- (2) 原子層堆積法アルミナ(Al₂O₃)およびスパッタリング法高誘電率薄膜からなる2層型絶縁ゲート型ダイヤモンドFETの開発に初めて成功した。
- (3) FETおよび抵抗型インバーターから成るダイヤモンド論理回路の開発に成功した(図1参照)。

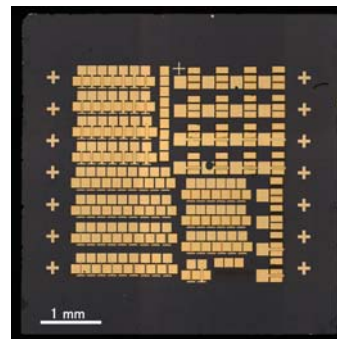


図1. 試作ダイヤモンドICチップ

- (4) ダイヤモンド/AlNヘテロ接合型FETおよび微細構造解析から解明したp型伝導チャネル形成機構を基盤として、AlN単

結晶薄膜の高品質化を達成し、FET が高性能化された。更に昨年度に開発した HfO_2 および $\text{LaAlO}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ /ダイヤモンド FET を高性能化して、より高誘電率な絶縁ゲート FET を開発した。高誘電率 (high-k) 絶縁膜および積層構造を探索するとともに絶縁ゲート型ダイヤモンド電界効果トランジスタ(MISFET)の開発に成功した。

- (5) 比誘電率 13 を持つ $\text{ZrO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 積層誘電体構造をゲート誘電体構造用いることにより、 $4\ \mu\text{m}$ ゲート長において世界最高値トランジスタ電流を得た (図 2 参照)。
- (6) 昨年度開発したエンハンスメント (ノーマリオフ) 型 $\text{LaAlO}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ を絶縁ゲート薄膜に用いたダイヤモンド FET を用いて、世界初となるダイヤモンドロジックインバータ回路の試作に成功した。ダイヤモンド集積回路開発への第一歩を記した (図 2 参照)。
- (7) 高誘電率ゲート薄膜を用いた絶縁ゲート型ダイヤモンド電界効果トランジスタ(MISFET)の重要な動作モードであるノーマリオン/オフ制御に成功した。またトランジスタ特性および電気容量特性および微細構造解析から MIS 界面における電荷量制御が重要であることが判明し、パワートランジスタの設計につなげることが可能となった。
- (8) 高誘電率ゲートダイヤモンド MISFET のノーマリオン/オフ制御のメカニズムを解明した。同時にノーマリオフ特性を持つダイヤモンド FET に関する特許を出願した。また、 AlN /ダイヤモンドヘテロ接合 FET における接合界面の微細構造観察結果と FET 特性向上に成功した。

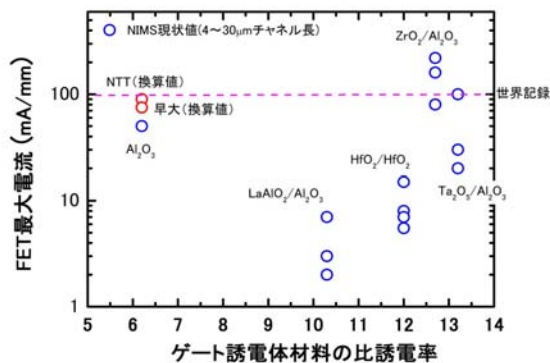


図 2. 開発されたダイヤモンド FET の最大電流とゲート誘電体材料の比誘電率の関係。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 25 件)

- 1) J. Liu, H. Oosato, X. Wang, L. Meiyong, Y.

Koide: “Design and fabrication of high-performance diamond triple-gate field-effect transistors” SCIENTIFIC REPORTS, 6[34757] (2016) 34757-1 DOI: 10.1038/srep34757, 査読有

- 2) J. Liu, L. Meiyong, M. Imura, Y. Koide: “High-k $\text{ZrO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ bilayer on hydrogenated diamond: band configuration breakdown field and electrical properties of field-effect transistors” J. Appl. Phys. 120[12] (2016) 124504-1 DOI: 10.1063/1.4962851, 査読有
- 3) Jing Zhao, J. Liu, S. Liwen, L. Meiyong, David Coathup, M. Imura, BG Shi, Changzhi Gu, Y. Koide, Haitao Ye: “Assembly of a high-dielectric constant thin TiO_x layer directly on H-terminated semiconductor diamond” Appl. Phys. Lett. 108[1] (2016) 012105-1 DOI: 10.1063/1.4939650, 査読有
- 4) R. Banal, M. Imura, J. Liu, Y. Koide: “Structural properties and transfer characteristics of sputter deposition AlN and atomic layer deposition Al_2O_3 bilayer gate materials for H-terminated diamond field effect transistors” J. Appl. Phys. 120 (2016) 115307-1 DOI:10.1063/1.4962854, 査読有
- 5) Ryan G. Banal, Masataka Imura, Daiju Tsuya, Hideo Iwai, Yasuo Koide: “Nanometer-thin ALD- Al_2O_3 for the improvement of structural quality of AlN grown on sapphire substrate by MOVPE,” Phys. Status Solidi A, 1–8 (2016), DOI 10.1002/pssa.201600727., 査読有
- 6) J. Liu, L. Meiyong, M. Imura, E. Watanabe, H. Oosato, Y. Koide: “Electrical properties of atomic layer deposited $\text{HfO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ multilayer on diamond” Diam. Relat. Mat. 54 (2015) 55-58 DOI: 10.1016/j.diamond.2014.10.004, 査読有
- 7) J. Liu, L. Meiyong, M. Imura, T. Matsumoto, N. Shibata, Y. Ikuhara, Y. Koide: “Control of normally on/off characteristics in hydrogenated diamond metal-insulator-semiconductor field-effect transistors” J. Appl. Phys. 118[11] (2015) 115704-1 DOI:10.1063/1.4930294, 査読有
- 8) M. Y. Liao, J. Liu, S. Liwen, D. Caatchup, JL Li, M. Imura, Y. Koide, HT Ye: “Impedance analysis of $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{H}$ -terminated diamond metal-oxide-semiconductor structures” Appl. Phys. Lett. 106[8] (2015) 083506-1 DOI:10.1063/1.4913597, 査読有
- 9) R. Banal, M. Imura, Y. Koide: “Influence of surface structure of (0001) sapphire substrate on the elimination of small-angle grain boundary in AlN epilayer” AIP ADVANCES 5[9] (2015) 097143-1 DOI:10.1063/1.4931159, 査読有
- 10) J. Liu, L. Meiyong, M. Imura, E. Watanabe, H. Oosato, Y. Koide: “Diamond field effect transistors with a high-dielectric constant Ta_2O_5 as gate material” J. Phys. D-Appl. Phys.

- 47[18] (2014) 245102-1
DOI:10.1088/0022-3727/47/24/245102, 査読有
- 11) J. Liu, L. Meiyong, M. Imura, E. Watanabe, H. Oosato, Y. Koide: “Diamond logic inverter with enhance- ment-mode metal-insulator-semiconductor field effect transistor” Appl. Phys. Lett. 105[8] (2014) 082110-1 DOI:10.1063/1.4894291, 査読有
 - 12) A. Fiori, T. Teraji, Y. Koide: “Diamond Schottky diodes with ideality factors close to 1” Appl. Phys. Lett. 105[13] (2014) 133515-1 DOI:10.1063/1.4897315, 査読有
 - 13) J. Liu, L. Meiyong, M. Imura, A. Tanaka, H. Iwai, Y. Koide: “Low on-resistance diamond field effect transistor with high-k ZrO₂ as dielectric” SCIENTIFIC REPORTS 4[6395] (2014) 6395-1 DOI:10.1038/srep06395, 査読有
 - 14) M. Liao, M Toda, S. Liwen, S. Hishita, S Tanaka, Y. Koide: “Energy dissipation in micron- and submicron-thick single crystal diamond” Appl. Phys. Lett. 105 (2014) 251904-1 DOI:10.1063/1.4904990, 査読有
 - 15) M. Liao, Y. Koide, S. Liwen: “Nano-structured Wide-bandgap Semiconductors for Ultraviolet Detection” Austin Journal of Nanomedicine & Nanotechnology 2[5] (2014) 1029-1, 査読有
 - 16) S. Yamazaki, E. Gheeraert, Y. Koide: "Doping and interface of homoepitaxial diamond for electroc applications," MRS Bulletin, vol. 39, 499 (2014). , 査読有
 - 17) A. Fiori, T. Teraji, Y. Koide: “Behaviour of WC/p-diamond Schottky Diode Properties at Elevated Temperature” Hasselt Diamond Workshop 2014 SBDD XIX Phys. Status Solidi A 211[10] (2014) 2363-2366 DOI:10.1002/pssa.201431216, 査読有
 - 18) J. LIU, L. Meiyong, M. Imura, H. Oosato, E. Watanabe, Y. Koide: “Electrical characteristics of hydrogen-terminated diamond metal-oxide-semiconductor with atomic layer deposited HfO₂ as gate die” Appl. Phys. Lett. 102[112910] (2013) 112910-1 DOI:10.1063/1.4798289, 査読有
 - 19) J. LIU, L. Meiyong, C. Shaoheng, M. Imura, Y. Koide: “Interfacial chemical bonding state and band alignment of CaF₂/hydrogen-terminated diamond heterojunction” J. Appl. Phys. 113[12] (2013) 123706-1 DOI:10.1063/1.4798366, 査読有
 - 20) M. Imura, Ujjal Gautam, K. Nakajima, Y. Koide, Amano Hiroshi, Tsuda Kenji : “Analysis of Broken Symmetry in Convergent-Beam Electron Diffraction along <1120> and <1100> Zone-Axes of AlN for Polarity Determination” Jpn. J. Appl. Phys 52[8] (2013) 08JE15-1 DOI:10.7567/JJAP.52.08JE15, 査読有
 - 21) J. LIU, Shaoheng Cheng, L. Meiyong, M. Imura, A. Tanaka, H. Iwai, Y. Koide: “Interfacial electronic band alignment of Ta₂O₅/hydrogen-terminated diamond heterojunction determined by X-ray photoelectron spectroscopy” Diam. Relat. Mat. 38 (2013) 24-27 DOI:10.1016/j.diamond.2013.06.005, 査読有
 - 22) J. LIU, L. Meiyong, M. Imura, H. Oosato, E. Watanabe, A. Tanaka, H. Iwai, Y. Koide: “Interfacial band configuration and electrical properties of LaAlO₃/Al₂O₃/hydrogenated-diamond metal-oxide-semiconductor field effect transistors” J. Appl. Phys. 114[8] (2013) 084108-1 DOI:10.1063/1.4819108, 査読有
 - 23) J. LIU, L. Meiyong, M. Imura, Y. Koide : “Normally-off HfO₂-gated diamond field effect transistors” Appl. Phys. Lett. 103[9] (2013) 092905-1 DOI:10.1063/1.4820143, 査読有
 - 24) M. Imura, S. Tsuda, T. Nagata, H. Takeda, L. Meiyong, A. YANG, Y. Yamashita, H. Yoshikawa, Y. Koide, K. Kobayashi, YAMAGUCHI, KANEKO, UEMASTU, K. Wang, ARAKI, NANISHI : “Impact of Mg concentration on energy-band-depth profile of Mg-doped InN epilayers analyzed by hard X-ray photoelectron spectroscopy” Appl. Phys. Lett. 103[16] (2013) 162110-1 DOI:10.1063/1.4826094, 査読有
- その他 1 件
- [学会発表] (計 1 0 9 件)
- 1) J. Liu, L. Meiyong, M. Imura, Y. Koide : “Recent Developments in Diamond MOSFET Electronic Devices” ICYS Workshop FY2016, 2016/10/06-07, Yukarino-mori (茨城県・つくば市)
 - 2) BANALRyan, 井村将隆, LIU Jiangwei, MeiyongLiao, 小出康夫 : “Electrical properties of H-terminated diamond field effect transistors with AlN gate material sputter-deposited under Ar+N₂ atmosphere” The 77th JSAP Autumn Meeting 2016, 2016/09/13-16, TOKI MESSE (新潟県・新潟市)
 - 3) R. Banal, M. Imura, J. Liu, L. Meiyong, Y. Koide : “Sputter deposition AlN and atomic layer deposition Al₂O₃ as bilayer gate materials for H-terminated diamond field effect transistors” International Conference on Diamond and Carbon Materials 2016, 2016/09/04-08, Montpellier (France)
 - 4) J. LIU, L. Meiyong, M. Imura, R. Banal, Y. Koide : “High-k TiO₂ on Diamond for Electronic Devices: Capacitor Field-effect Transistor and Logic Inverter” The 10th International Conference on New Diamond and Nano Carbons, 2016/05/22-26, Xi'an

- (China)
- 5) M. Liao, M Toda, S. Liwen, S. Hishita, M. Imura, S Tanaka, Y. Koide : “Single Crystal Diamond Micromechanical and Nanomechanical Resonators” The 10th International Conference on New Diamond and Nano Carbon, 2016/05/22-26, Xi'an (China)
 - 6) BANALRyan, 井村将隆, 小出康夫 : “Structural quality of AlN epilayer grown on atomic layer deposition (ALD)-Al₂O₃/sapphire substrate” The Japan Society of Applied Physics Spring Meeting 2016, 2016/03/19-22, Tokyo Inst.of Tech. (東京都・目黒区)
 - 7) J. LIU, L. Meiyong, M. Imura, Y. Koide : “Enhancement mode hydrogenated diamond MISFETs” MANA International Symposium 2016, 2016/03/09-11, Epochal Tsukuba (茨城県・つくば市)
 - 8) J. LIU, L. Meiyong, M. Imura, Y. Koide : “High-k oxide gated diamond field effect transistor” WCSM-2016, 2016/03/04-06, Singapore (Singapore)
 - 9) J. LIU, L. Meiyong, M. Imura, Y. Koide : “Fabrication of Normally Off Diamond Metal-insulator- semiconductor field-effect transistors” ICYS Workshop 2016, 2016/01/20-22, Karuizawa Prince Hotel West (長野県・軽井沢町)
 - 10) Y. Koide : “Diamond MOSFETs with high-k gate oxides” 2015 MRS Fall Meeting, 2015/11/30-2015/12/03, Boston (USA)
 - 11) M.Y.Liao, J. Liu, S. Liwen, D. Coatchup, JL Li, M. Imura, Y. Koide, H. Ye : “Impedance Analysis of Hydrogen-Terminated Diamond MOS Structure” 2015 MRS Fall Meeting, 2015/11/30 - 2015/12/03, Boston (USA)
 - 12) BANAL Ryan, 井村将隆, LIU Jiangwei, 小出康夫: “ALD- Al₂O₃/SD-AlN as Bilayer Gate Material for Diamond FET” The Japan Society of Applied Physics Autumn Meeting 2015, 2015/09/13-16, Nagoya Congress Center (愛知県・名古屋市)
 - 13) Y. Koide, M. Imura, J. Liu, L. Meiyong, R. Banal, M. Takao, S. Naoya, I. Yuichi : “Hole channel formation mechanism in AlN/diamond heterojunction and high-k oxide gate diamond FETs” ICDCM 2015, 2015/09/06-12, Bad Homburg (Germany)
 - 14) A.J-Y. Fiori, T. Teraji, Y. Koide : “Oxycarbide Formation for Ideal and Thermally Stable Diamond Schottky-barrier Diodes” 3rd - French-Japanese workshop on diamond power devices, 2015/07/07-10, Nîmes (France)
 - 15) Y. Koide : “H-Diamond MOSFETs with high-k oxide gate” the 3rd French-Japanese Workshop “Diamond power devices”, 2015/07/07-10, Nîmes (France)
 - 16) Y. Koide : “E and D-modes Diamond MOSFETs” OMNT Diamond 2015, 2015/07/06, Grenoble (France)
 - 17) Y. Koide : “III-Nitride and Diamond Devices” SCDE 2015, 2015/06/12-14, Xi'an (China)
 - 18) J. LIU, L. Meiyong, M. Imura, Y. Koide : “Hydrogenated- diamond MISFET logic inverter” 9th International Conference on New Diamond and Nano Carbons, 2015/05/24-28, Shizuoka GRANSHP, (静岡県・静岡市)
 - 19) L. Meiyong, J. Liu, S. Liwen, D. Coatchup, JL Li, M. Imura, H. Ye, Y. Koide : “Impedance Spectroscopy of Diamond MOS Structure” the 9th International Conference on New Diamonds and Nano Carbon, 2015/05/24-28, Shizuoka GRANSHP, (静岡県・静岡市)
 - 20) Y. Koide : “High-k oxide gate Diamond FETs” 2015 MRS Spring Meeting & Exhibition, 2015/04/06-10, SanFrancisco, (USA)
 - 21) Y. Koide, J. Liu, M. Imura, L. Meiyong : “Diamond FETs using heterojunction and high-k dielectrics” ISPlasma2015 / IC-PLANTS2015, 2015/03/26-31, Nagoya Univ. (愛知県・名古屋市)
 - 22) J. LIU, L. Meiyong, M. Imura, Y. Koide : “Atomic Layer Deposited High-k Insulators on Hydrogenated- diamond for Field Effect Transistors” MANA International Symposium 2015, 2015/03/11-13, Epochal Tsukuba (茨城県・つくば市)
 - 23) BANAL Ryan, 井村将隆, 小出康夫 : “Elimination of samll-angle grain boundary in AlN grown on sapphire substrate” The Japan Society of Applied Physics Spring Meeting 2015, 2015/03/11-14, Tokai Univ. (神奈川県・平塚市)
 - 24) J. LIU, L. Meiyong, M. Imura, Y. Koide: “Diamond Ring Oscillator” ICYS Workshop 2015, 2015/01/20-22, Hotel Grandeco (福島県・北塩原村)
 - 25) A. Fiori, T. Teraji, Y. Koide : “Thermally Stable p-Diamond Schottky Barrier Diodes at 600 K” 2014 MRS Fall Meeting & Exhibit, 2014/11/30 - 2014/12/05, Boston (USA)
 - 26) Y. Koide : “Diamond Electronic Devices for Future Application” APMC2014, 2014/11/04-7, Sendai International Center (宮城県・仙台市)
 - 27) J. LIU, L. Meiyong, M. Imura, Y. Koide : “Atomic Layer Deposited HfO₂/Al₂O₃ Multi-nano-layer on Diamond for Field Effect Transistor” The 4th Annual World Congress of Nano-S&T, 2014/10/29-31, Qingdao (China)
 - 28) Y. Koide, J. Liu, M. Imura, L. Meiyong : “Diamond FETs using heterojunction and high-k dielectrics” EuMIC2014,

- 2014/10/06-07, Rome (Italy)
- 29) Alexandre Fiori, 寺地徳之, 小出康夫 : “WC/p-diamond interface reaction at 600 K for stable diodes” The 75th JSAP Autumn Meeting 2014, 2014/09/17-20, Hokkaido Univ. (北海道・札幌市)
- 30) A. Fiori, T. Teraji, Y. Koide : “Schottky-Barrier Inhomogeneities in WC/p-diamond at High Temperature” Solid State Devices and Materials 2014, 2014/09/08-11, Epochal Tsukuba (茨城県・つくば市)
- 31) J. LIU, L. Meiyong, M. Imura, Y. Koide : “High-k/hydrogenated-diamond metal-insulator-semiconductor field effect transistors fabrication” International Conference on Diamond and Carbon Materials, 2014/09/07-11, Madrid (Spain)
- 32) Y. Koide : “Diamond FETs with high-k oxide gate dielectrics” International Conference on Diamond and Carbon Materials 2014, 2014/09/07-11, Madrid (Spain)
- 33) J. LIU, L. Meiyong, M. Imura, Y. Koide : “HfO₂ on hydrogenated-diamond for field effect transistors” IUMRS-ICA 2014, 2014/08/24-30, Fukuoka Univ. (福岡県・福岡市)
- 34) Y. Koide : “Diamond Field Effect Transistors with high-k gate insulator” International Materials Research Congress 2014, 2014/08/17-21, Cancun (Mexico)
- 35) J. LIU, L. Meiyong, M. Imura, Y. Koide : “Diamond metal-insulator-semiconductor field effect transistor logic inverters” 2014 International Symposium on Single Crystal Diamond Electroni, 2014/06/12-17, Xi'an (China)
- 36) Y. Koide : “Diamond Electronic and Photonic Devices” 2014 International Symposium on Single Crystal Diamond Electroni, 2014/06/12-16, Xi'an (China)
- 37) Y. Koide, J. LIU, L. Meiyong, M. Imura, H. Oosato, E. Watanabe : “Frequency dispersion properties at Al₂O₃ and HfO₂/H-terminated diamond interfaces” New Diamond and Nano Carbons Conference (NDNC 2014), 2014/05/26-28, Chicago (USA)
- 38) J. LIU, L. Meiyong, M. Imura, Y. Koide : “Fabrication of low on-resistance diamond field effect transistors” New Diamond and Nano Carbons Conference (NDNC 2014), 2014/05/24-29, Chicago (USA)
- 39) J. LIU, L. Meiyong, M. Imura, H. Oosato, E. Watanabe, Y. Koide : “Electrical properties of atomic layer deposited HfO₂/Al₂O₃ multilayer on diamond” New Diamond and Nano Carbons Conference (NDNC 2014), 2014/05/24-29, Chicago (USA)
- 40) Y. Koide : “Diamond devices -Deep UV detector heterojunction FET and MEMS

switches” Asia Nano Forum Summit Young Scientist Program (ANFYSP) Workshop, 2014/01/23, AIST (茨城県・つくば市)

- 41) Y. Koide : “Materials and Devices Research in NIMS” Fraunhofer Institute for Applied Physics Meeting., 2013/11/11-14, Freiburg (Germany)

その他 68 件

〔図書〕 (計 3 件)

- 1) “Doping and interface of homoepitaxial diamond for electronic applications,” S. Yamazaki, E. Gheeraert, and Y. Koide, MRS Bullteins, vol. 39, 499 (2014).
- 2) 「ダイヤモンドを用いた光・電子デバイスの開発」 小出 康夫, 廖 梅勇, 井村 将隆, スマートプロセス学会誌, 第 2 巻, 第 5 号, p. 224-229, 2013 年.
- 3) 「AIN/ダイヤモンドヘテロ接合 FET と MEMS スイッチ」 小出 康夫, 廖 梅勇, 井村 将隆, 応用電子物性分科会誌, 第 19 巻, 第 3 号, 2013 年.

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 1 件)

名称: ノーマリーオフ特性を有する水素化ダイヤモンド MISFET の製造方法

発明者: 劉江偉, 小出康夫, リャオメイヨン, 井村将隆, 松元隆夫, 柴田直哉, 幾原雄一
権利者: 国立研究開発法人物質・材料研究機構

種類: 特許

番号: 特願 2015-174571

出願年月日: 2015 年 9 月 4 日

国内外の別: 国内

〔その他〕

ホームページ:

<http://yankoide.blue.coocan.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小出 康夫 (KOIDE YASUO)

物質・材料研究機構・技術開発・共用部門・部門長

研究者番号: 70195650

(2) 研究分担者

廖 梅勇 (LIAO MEYONG)

物質・材料研究機構・機能性材料研究拠点・主幹研究員

研究者番号: 70528950

井村 将隆 (IMURA MASATAKA)

物質・材料研究機構・機能性材料研究拠点・主任研究員

研究者番号: 80465971

(3) 連携研究者

津谷 大樹 (TSUYA DAIJU)

物質・材料研究機構・技術開発・共用部門・ナノテクノロジー融合ステーション・主任エンジニア

研究者番号: 10469760