

平成 30 年 5 月 19 日現在

機関番号：14101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H03556

研究課題名(和文)窒化物半導体におけるプラズモン誘導光透過現象と紫外発光デバイス光制御への応用

研究課題名(英文)The plasmonic extraordinary transmission phenomenon of III-nitride semiconductors and application to UV emitting devices

研究代表者

平松 和政 (Hiramatsu, Kazumasa)

三重大学・工学研究科・教授

研究者番号：50165205

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、原子レベル平坦性を有する極性・非極性AlGa<sub>N</sub>高品質結晶と2層型ワイヤグリッド格子(2WGP)によるプラズモン誘導光透過を用いて、高性能紫外域光デバイス(紫外域偏光制御、高効率紫外発光素子)の実現を目指して研究を行った。結晶成長に関する研究では極性・非極性AlGa<sub>N</sub>高品質結晶作製を得るための見通しを得ることができた。また、金属回折格子構造を用いてプラズモン誘導光透過の制御ができることを明らかにした。これらの知見に基づき、今後高性能紫外域光デバイスへの見通しを得ることができた。

研究成果の概要(英文)：In this study, we investigate the effect of high-performance ultraviolet region optical devices (ultraviolet region polarization control, high Efficiency ultraviolet light emitting device). In the research on crystal growth, we were able to obtain a prospect to obtain polar / nonpolar AlGa<sub>N</sub> high quality crystal production. We also clarified that plasmon - induced light transmission can be controlled by using a metal diffraction grating structure. Based on these findings, we were able to obtain prospects for high performance ultraviolet region optical devices in the future.

研究分野：半導体工学、オプトエレクトロニクス

キーワード：窒化物半導体 窒化アルミニウム 紫外線発光デバイス 表面プラズモン プラズモン誘導透過現象

### 1. 研究開始当初の背景

< AlGaN 半導体を用いた短波長紫外発光デバイスの課題 >

窒化物半導体では、近紫外～可視領域 (360-540nm) の LED は実用化が進んでいる。一方、短波超紫外領域 (特に 300nm 以下) では、低抵抗 p 型 AlGaN が困難なため、発光効率、発光出力が低く、さらなる高性能化への努力が必要である。研究代表者は 250nm 領域で n 型 AlGaN のみで実現可能な電子線励起発光デバイス実用化に取り組んでいる (研究業績 11、22)。しかし、デバイスの内部量子効率 50% 程度、光取出し効率 10% 以下 (表面加工でも 10 数% 程度) と低く、また配光特性 (偏光特性、伝搬特性) の制御も未解決である。本提案では、結晶性向上、光取出し効率、偏光特性制御に絞り、紫外発光光源実用化を目指す。p 形化の課題は別提案で実施する予定である。

< 窒化物半導体の高品質化技術の実績 >

研究代表者は、これまで窒化物半導体の結晶成長における高品質化技術の開発に取り組んできた。GaN では、選択成長 (平松等, J.Cryst.Growth 1994) の役割が大きく、これにより低欠陥密度化やデバイスの高性能化が実現できた。一方、AlGaIn、AlN の選択成長は困難であるため、凹凸基板を用いた擬選択成長やポイド制御、サファイア界面制御により、転位密度低減、クラックフリーを実現してきた (科研費基板 B H24-26)。さらに、最近では AlN の N<sub>2</sub>-CO 超高温表面熱処理による AlN 結晶の格段の高品質化に成功 (2013 応物春、2014 赤崎記念シンポ) し、c 面 AlN エピ膜では最高レベルの結晶 (X 線回折半値幅 (0002) 52 秒、(10-12) 167 秒) が得られるようになった。

< 金属ワイヤグリッド偏光子による表面プラズモンによる異常透過光現象の実現 >

研究代表者は、二層型ワイヤグリッド偏光子 (2WGP) の金格子を用いて、表面プラズモンによる異常透過現象 (ここではプラズモン誘導光透過と呼ぶ) を実験的、理論的に実証した (科研費萌芽の成果 H25-26)。2WGP とは、ガラス上に 2 層の金属格子を配置したもので、その構造の最適化で TM 波 / TE 波の高い透過比 (3000 倍以上、理論予測 10000 倍以上) を得た。プラズモン誘導光透過とは、表面プラズモン誘起により光波長よりも短い周期の金属格子を光透過する現象である (Ebbesen 等 Nature 1998)。研究代表者は、635nm 入射光が、ある入射角度・格子周期で TM 波の高い透過率を示す現象から、プラズモン誘導光透過効果を実証した。

この機構は、光入射により 2WGP (下部の金格子) とガラス界面に強力な表面プラズモンが発生し、これが強力な誘導放射による光透過をもたらすことを、電磁場解析 (RCWA) により明らかにした。また、Ag の格子では最大 80% もの TM 波透過率を理論予測した。< 着想点: 上記実績に基づきプラズモン誘導

光透過を用いた紫外発光デバイスの光制御を目指す >

本研究の最大の着想点は、表面プラズモンにより強力な透過光を生み出すこのプラズモン誘導光透過現象を、AlGaIn 系の紫外固体光源 (LED、電子線照射光源) の光取出し効率向上、偏光制御に利用しようとする点である。すなわち、活性層で発光した光で表面プラズモンを励起し、それが高い透過率と偏光特性を示すことを利用する。

Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N 量子井戸からの紫外発光では、発光偏光特性が組成により異なるので、紫外長波長域 < 230nm (x<0.8) では極性 c 面 AlGaIn を、紫外短波長域 < 230nm (x>0.8) では非極性 a 面 AlGaIn を使い分ける。(川上等 PR2009 論文など)

### 2. 研究の目的

上記の研究背景を踏まえ、本研究期間に次のことを達成することを目指して研究を行う。

(1) 原子レベル平坦性を有する極性・非極性 AlGaIn 高品質結晶作製

超高温アニール AlN 緩衝層技術により、サファイア c 面上で極性 c 面 AlN、AlGaIn の一層の高品質化を試みると同時に、サファイア r 面上で非極性 a 面 AlN、AlGaIn の高品質化を狙う。

(2) AlGaIn 結晶上の 2 層型ワイヤグリッド格子 (2WGP) によるプラズモン誘導光透過の実現

紫外領域でプラズモン活性となる金属を探索及び電磁波解析により 2WGP の最適構造を解明する。そして、(1) で作製した高品質 AlGaIn 結晶上に金属 2WGP (ストライプ格子、及びドット格子) を作製し、紫外光を入射しプラズモン誘導光透過現象を確認する。(3) 高性能紫外域光デバイス (紫外域偏光制御、高効率紫外発光素子) の実現

(1)(2) で作製した AlGaIn 結晶上 2WGP を用いて、ストライプ構造による TM 偏光制御型紫外発光素子を実現するとともに、ドット構造による光取出し効率の向上 (現状 10% 目標 40%) 及び内部量子効率の向上 (現状 50% 70%) により、紫外発光素子の発光効率の大幅向上を目指す。(現状では電子線照射型紫外光源で、250nm で 14mW の出力を得ているが、本研究では実用化レベルの 80mW を視野に入れる。)

### 3. 研究の方法

(1) では、超高温アニール AlN 緩衝層技術を用いてサファイア基板上に AlN の高品質結晶成長を行い、その上に HVPE 法や減圧 MOVPE 法により厚膜 AlN や AlGaIn/AlN 量子井戸構造などの結晶成長を行った。

(2) では、電子線描画装置を用いて 2 層型ワイヤグリッド構造を作製し、透過特性を評価した。

(3) では (1)(2) で得られた構造を用いて紫外線発光素子を作製し、その特性評価を行う。

本研究では特に(1)(2)に関する基礎的研究に関していくつかの研究成果を得ることができたので、その結果について報告する。

#### 4. 研究成果

##### <窒化物半導体の結晶成長に関する成果>

27年度は、高品質 AlN の結晶成長を行った。サファイア上 AlN 成長では、サファイアの表面ステップ構造に起因して高密度な刃状転位が発生する問題があるため、サファイア基板の微傾斜角度やサーマルクリーニング条件を変化させて、サファイア上に形成される AlN の結晶性やドメイン構造を制御し、AlN の高品質化を目指した。図1に示すようにサファイア基板の微傾斜角度の増加につれて、AlN の(0002)面の XRC 半値幅は悪化する傾向であったが、(10-12)面の XRC 半値幅は改善するという結果となった。これらの XRC 半値幅の変化は、サファイア基板の表面ステップ構造に起因することが確認された。

28年度は、AlN 緩衝層を用いた高品質 AlN

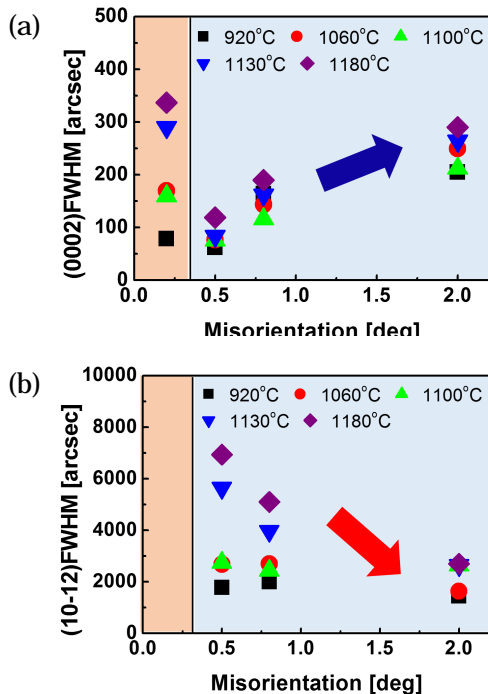


図1 AlN の XRC 半値幅の測定結果

(a) (0002)回折、(b) (10-12)回折

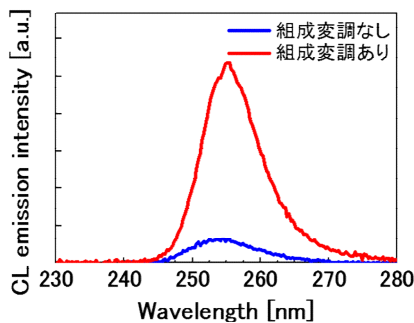


図2 AlGaIn のカソードルミネッセンス測定結果

厚膜の作製においては、サファイア基板上に AlN 緩衝層を成長させ、これを高温アニールすることで良好な結晶性を持つ AlN 緩衝層が得られ、この緩衝層に高温 AlN 厚膜を成長させることで、高品質な AlN 厚膜の作製に成功した。また、組成変調 AlGaIn 多重量子井戸構造の作製においては、サファイア基板上に成長した AlN 層に井戸層と障壁層の混晶組成を二次関数的に変調させた AlGaIn 多重量子井戸構造を作製することができ、図2に示すように強いカソードルミネッセンス発光を得ることができた。

29年度は、結晶成長に関してはスパッタ法による AlN の結晶成長を行い、その後アニールや結晶成長を行うことで、高品質な AlN 基板結晶を得ることができた。これを用いることで極性・非極性 AlGaIn 高品質結晶作製を得るための見通しを得ることができた。

##### <表面プラズモン共鳴を用いた光学素子作製に関する研究>

27年度は、ガラス基板上への金属周期構造による表面プラズモン共鳴に関する実験を行い、プラズモン誘導光透過を用いた高性能紫外発光デバイスを実現するための指針を得ることを目的に実験を行った。ガラス基板上への1次元金属回折格子構造を有する偏光子の作製を行い、周期構造の制御により、透過特性が制御できることを明らかにした。

28年度は27年度の結果を踏まえ、ガラス基板上に金属1次元回折格子を用いた表面プラズモンセンサーやワイヤーグリッド偏光子を作製し、図3に示す透過率マッピングの結果から周期構造や入射角度による透過率の制御ができることを明らかにした。

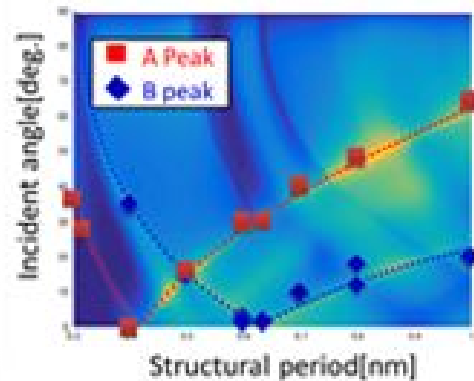


図3 2層型ワイヤーグリッド構造の透過率マッピング

(と はピーク角度の実験データ)

29年度はワイヤーグリッド構造を用いた光学素子作製に関しては、金と銀では伝搬型表面プラズモンの発生メカニズムが異なることと金を用いた回折格子構造で高感度のセンサーを実現できることが明らかになり、これらに知見を利用して紫外線発光素子への応用に目途をつけることができた。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 13 件)

- (1) Ryo Yoshizawa, Hideto Miyake and Kazumasa Hiramatsu, “Effect of thermal annealing on AlN films grown on sputtered AlN templates by metalorganic vapor phase epitaxy”, Japanese Journal of Applied Physics, 57, 01AD05 (2018) (査読あり) 10.7567/JJAP.57.01AD05.
- (2) Shunsuke Okada, Hiroaki Iwai, Hideto Miyake and Kazumasa Hiramatsu, “Structural study of GaN grown on nonpolar bulk GaN substrates with trench patterns”, Japanese Journal of Applied Physics, 56, 125504 (2017) (査読あり) 10.7567/JJAP.56.125504.
- (3) Atsushi Motogaito, Tomoyasu Nakajima, Hideto Miyake and Kazumasa Hiramatsu, “Excitation mechanism of surface plasmon polaritons in a double-layer wire grid structure”, Applied Physics A, 123, 729 (2017) (査読あり) 10.1007/s00339-017-1367-6.
- (4) Shunsuke Okada, Hiroki Iwai, Hideto Miyake and Kazumasa Hiramatsu, “Selective area growth of GaN on trench-patterned nonpolar bulk GaN substrates”, Journal of Crystal Growth, 468, pp.851-855 (2017) (査読あり) 10.1016/j.jcrysgro.2016.12.011.
- (5) Chia-Hung Lin, Yasuhiro Yamashita, Hideto Miyake and Kazumasa Hiramatsu, “Fabrication of high-crystallinity a-plane AlN films grown on r-plane sapphire substrates by modulating buffer-layer growth temperature and thermal annealing conditions”, Journal of Crystal Growth, 468, pp.845-850 (2017) (査読あり) 10.1016/j.jcrysgro.2016.09.076.
- (6) Chia-Hung Lin, Daiki Yasui, Shinya Tamaki, Hideto Miyake and Kazumasa Hiramatsu, “Effect of surface pretreatment of r-plane sapphire substrates on the crystal quality of a-plane AlN”, Japanese Journal of Applied Physics, 55, 05FA12 (2016) (査読あり) 10.7567/JJAP.55.05FA12.
- (7) Chia-Hung Lin, Daiki Yasui, Shinya Tamaki, Hideto Miyake and Kazumasa Hiramatsu, “Effects of AlN buffer layer thickness on the crystallinity and surface morphology of 10- $\mu$ m-thick a-plane AlN films grown on r-plane sapphire substrates”, Applied Physics Express, 9, 081001 (2016) (査読あり) 10.7567/APEX.9.081001.
- (8) Atsushi Motogaito, Shinya Mito, Hideto Miyake, Kazumasa Hiramatsu, “Detecting High-Refractive-Index Media Using Surface Plasmon Sensor with One-Dimensional Metal Diffraction Grating”, Optics and Photonics Journal, 6, pp.164-170 (2016) (査読あり) 10.4236/opj.2016.67018.
- (9) Hideto Miyake, Chia-Hung Lin, Kenta Tokoro, Kazumasa Hiramatsu, “Preparation of high-quality AlN on sapphire by high-temperature face-to-face annealing”, Journal of Crystal Growth, 456, pp.155-159 (2016) (査読あり) 10.1016/j.jcrysgro.2016.08.028.
- (10) H. Miyake, G. Nisho, S. Suzuki, K. Hiramatsu, H. Fukuyama, J. Kuar and N. Kuwano, “Annealing of an AlN buffer layer in N<sub>2</sub>-CO for growth of a high-quality AlN film on sapphire”, Applied Physics Express”, 9, 025501 (2016) (査読あり) 10.7567/APEX.9.025501.
- (11) A. Motogaito, Y. Morishita, H. Miyake and K. Hiramatsu, “Extraordinary Optical Transmission Exhibited by Surface Plasmon Polaritons in a Double-Layer Wire Grid Polarizer”, Plasmonics, 10, 1657-1662 (2015) (査読あり) 10.1007/s11468-015-9980-8.
- (12) A. Motogaito, M. Kito, H. Miyake and K. Hiramatsu, “Fabrication and optical characterization of a 2D metal periodic grating structure for cold filter application”, Proc. of SPIE Micro+Nano Materials, Devices, and Systems, 9668, pp. 96681Q1-96681Q6 (2015) (査読あり) 10.1117/12.2201116.
- (13) S. Okada, H. Miyake, K. Hiramatsu, R. Miyagawa, O. Eryu and T. Hasegawa, “Surface thermal stability of free-standing GaN substrates”, Japanese Journal Applied Physics, 55, 01AC08 (2015) (査読あり) 10.7567/JJAP.55.01AC08.

[学会発表](計 68 件)

- (1) 伊藤優佑、元垣内敦司、三宅秀人、平松和政、“一次元金属回折格子を用いた表面プラズモンセンサーの作製及び感度評価”、電子情報通信学会 光エレクトロニクス研究会 (2018)
- (2) 渡邊直也、元垣内敦司、三宅秀人、平松和政、“二層型ワイヤーグリッド構造における伝搬型表面プラズモンの伝搬特性に関する研究”、電子情報通信学会 光エレクトロニクス研究会 (2018)

- (3) 元垣内敦司, “ ナノ構造を用いた光制御技術と LED 照明の応用 ”, 電子情報通信学会東北支部 学術講演会 (招待講演) (2017)
- (4) 元垣内敦司, “ 化合物半導体を用いたセンサー応用技術 ソーラーブラインド紫外線センサーと表面プラズモンセンサー ”, 日本セラミクス協会第 30 回秋季シンポジウム (招待講演) (2017)
- (5) 伊藤優佑, 元垣内敦司, 三宅秀人, 平松和政, “ 一次元金属回折格子を用いた表面プラズモンセンサーの感度評価 ”, 第 78 回応用物理学会秋季学術講演会 (2017)
- (6) 渡邊直也, 元垣内敦司, 三宅秀人, 平松和政, “ Ag を用いた二層型ワイヤーグリッド構造の周期と波長の依存性 ”, 第 78 回応用物理学会秋季学術講演会 (2017)
- (7) 福田 涼, 山木 佑太, 林 侑介, 三宅 秀人, 平松 和政, “ スパッタ法で成膜した r 面サファイア基板上 a 面 AlN の高品質化 ”, 第 78 回応用物理学会秋季学術講演会 (2017)
- (8) 田中 襲一, 岡田 俊祐, 林 侑介, 三宅 秀人, 平松 和政, “ MOVPE 法による AlN 膜の face-to-face アニール ”, 第 78 回応用物理学会秋季学術講演会 (2017)
- (9) Shi-yu Xiao, Yi-kang Liu, Hideto Miyake, Kazumasa Hiramatsu, Shunta Harada, Toru Ujihara, “ Investigation of the sputtered AlN films qualitative improvement process by high-temperature annealing ”, The 12th International Conference on Nitride Semiconductors (国際学会) (2017)
- (10) Shunsuke Okada, Hideto Miyake, Kazumasa Hiramatsu, “ Study of curvature during thermal annealing of AlN on sapphire ”, The 12th International Conference on Nitride Semiconductors (国際学会) (2017)
- (11) 三宅 秀人, 林 侑介, Shiyu Xiao, “ サファイア基板上 AlN テンプレートの高温アニール ”, 第 46 回結晶成長国内会議 (招待講演) (2017)
- (12) 吉澤 涼, 林 侑介, 三宅秀人, 平松和政, “ スパッタ法 AlN 基板への MOVPE 法によるホモ成長 ” 電子情報通信学会電子デバイス研究会 (2017)
- (13) 渡邊 直也, 元垣内 敦司, 三宅 秀人, 平松 和政, “ Ag を用いた二層型ワイヤーグリッド構造の入射角度依存性 ”, 第 64 回応用物理学会春季学術講演会 (2017)
- (14) 伊藤 優佑, 元垣内 敦司, 三宅 秀人, 平松 和政, “ 一次元金属回折格子を用いた表面プラズモンセンサーの光学特性及び感度評価 ”, 第 64 回応用物理学会春季学術講演会 (2017)
- (15) 岡田 俊祐, 岩生 浩季, 三宅 秀人, 平松 和政, “ 溝加工(10-10)GaN 基板上への GaN 選択横方向成長 ”, 第 64 回応用物理学会春季学術講演会 (2017)
- (16) 河合 祥也, 三宅 秀人, 平松 和政, “ MOVPE 法による AlN 成長における窒化温度の影響 ”, 第 64 回応用物理学会春季学術講演会 (2017)
- (17) Ryo Yoshizawa, Hideto Miyake and Kazumasa Hiramatsu, “ Effect of Thermal Annealing on AlN Films Grown on Sputtered AlN Templates ”, 9th International Symposium on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterials (国際学会) (2017)
- (18) 中嶋智康, 元垣内敦司, 三宅秀人, 平松和政, “ 表面プラズモンを用いたワイヤーグリッド偏光子の偏光特性評価に関する研究 ”, 電子情報通信学会 光エレクトロニクス研究会 (2017)
- (19) 伊藤優佑, 元垣内敦司, 三宅秀人, 平松和政, “ 一次元金属回折格子を用いた表面プラズモンセンサーの周期及び入射角度依存性と感度特性 ”, 電子情報通信学会 光エレクトロニクス研究会(2017)
- (20) 伊藤優佑, 元垣内敦司, 三宅秀人, 平松和政, “ 一次元金属回折格子を用いた表面プラズモンセンサーの光学特性評価 ”, 日本光学会ナノオプティクス研究グループ 第 23 回研究討論会 (2016)
- (21) 渡邊直也, 元垣内敦司, 三宅秀人, 平松和政, “ Ag を用いた二層型ワイヤーグリッド構造の光学特性評価 ”, 日本光学会ナノオプティクス研究グループ 第 23 回研究討論会 (2016)
- (22) Atsushi Motogaito, Shinya Mito, Hideto Miyake and Kazumasa Hiramatsu, “ Detecting High-refractive-index ( $n>1.5$ ) Media using Surface Plasmon Sensor with One-dimensional Au Diffraction Grating on Glass Substrate ”, Light, Energy and the Environment Congress (国際学会) (2016)
- (23) 中嶋智康, 元垣内敦司, 三宅秀人, 平松和政, “ ワイヤーグリッド構造における表面プラズモン 分散曲線と透過率マッピング ”, 日本光学会年次学術講演会 (2016)
- (24) Hideto Miyake, Chia-Hung Lin, Yikang Liu and Kazumasa Hiramatsu, “ Fabrication of High-Quality AlN Template on Sapphire by High Temperature Annealing ”, International Workshop on Nitride Semiconductors (国際学会) (2016)
- (25) Chia-Hung Lin, Shinya Tamaki, Yasuhiro Yamashita, Hideto Miyake and Kazumasa Hiramatsu, “ Effect of AlN

Buffer Layer Thickness on Crystallinity and Surface Morphology of 10- $\mu$ m-Thick A-Plane AlN Films Grown on R-Plane Sapphire Substrates”, International Workshop on Nitride Semiconductors (国際学会) (2016)

- (26) T. Nakajima, A. Motogaito, H. Miyake, K. Hiramatsu, “Relationship between Space Control and Optical Properties of a Double-layer Surface Plasmon Wire Grid Polarizer”, The 14th International Conference on Near-field Optics, Nanophotonics, and Related Techniques (国際学会) (2016)
- (27) C.-H. Lin, Y. Yamashita, H. Miyake, K. Hiramatsu, “Effect of buffer-layer growth temperature and thermal annealing conditions on a-plane AlN films grown on r-plane sapphire”, The 18th International Conference on Crystal Growth and Epitaxy(国際学会) (2016)
- (28) 林家弘、三宅秀人、平松和政、“r面ウエッジ上へのa面AlN成長におけるバッファ層成長温度依存性”,第63回応用物理学会春季学術講演会(2016)
- (29) 中嶋智康、元垣内敦司、三宅秀人、平松和政、“2層型ワイヤグリッド偏光子の空間制御と光学特性評価”,第63回応用物理学会春季学術講演会(2016)
- (30) 鈴木周平、林家弘、三宅秀人、平松和政、福山博之、“微傾斜角度の異なるc面サファイア基板上へのAlN成長とN<sub>2</sub>-COアニール”,電子情報通信学会レーザ・量子エレクトロニクス研究会(2015)
- (31) A. Motogaito, M. Kito, H. Miyake and K. Hiramatsu, Fabrication and optical characterization of a 2D metal periodic grating structure for cold filter application, SPIE Micro+Nano Materials, Devices, and Systems (国際学会) (2015)
- (32) S.Mito, A.Motogaito, H.Miyake and K.Hiramatsu, “Detection of high-refractive index media by a surface plasmon sensor using a one dimensional metal diffraction grating”, The 20th MICROOPTICS CONFERENCE (国際学会) (2015)

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

名称：  
発明者：  
権利者：

種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況(計 0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等  
三重大学 大学院工学研究科 電気電子工学  
専攻オプトエレクトロニクス研究室  
<http://www.opt.elec.mie-u.ac.jp>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

平松 和政 (HIRAMATSU, Kazumasa)  
三重大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号：50165205

### (2) 研究分担者

三宅 秀人 (MIYAKE, Hideto)  
三重大学・大学院地域イノベーション学  
研究科・教授  
研究者番号：70209881

元垣内 敦司 (MOTOGAITO, Atsushi)  
三重大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号：00303751

### (3) 連携研究者

( )  
研究者番号：

### (4) 研究協力者

林家弘 (LIN, Chia-Hung)  
林 侑介 (HAYASHI Yusuke)  
XIAO SHIYU (XIAO, Shiyu)  
吉澤 涼 (YOSHIZAWA, Ryo)  
岡田 俊祐 (OKADA, Shyunsuke)  
伊藤 優佑 (ITO, Yuusuke)  
渡邊 直也 (WATANABE, Naoya)  
河合 祥也 (KAWAI, Shoya)  
福田 涼 (FUKUDA, Ryo)  
田中 襲一 (TANAKA, Shuuichi)  
中嶋 智康 (TOMOYASU, Nakajima)  
鈴木 周平 (SUZUKI, Shuhei)  
水戸 慎也 (MITO, Shinya)