

機関番号：12501

研究種目：特定領域研究

研究期間：2006 年～平成 2010 年

課題番号：18069002

研究課題名（和文）極広域分光による窒化物半導体ナノデバイス構造の精密評価

研究課題名（英文）Characterization of Nano-Device Structures of InN-based III-nitrides by Extremely Wide Range Spectroscopy

研究代表者

吉川 明彦 (YOSHIKAWA AKIHIKO)

千葉大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：20016603

研究成果の概要（和文）：

窒化物半導体は、原理的に波長約 0.2 $\mu\text{m}$  の紫外から約 2  $\mu\text{m}$  の赤外までの光デバイスに応用可能である。未だに困難な赤や赤外域の長波長側へのデバイス利用波長域拡大のため、我々は極広域分光によりナノ構造評価、キャリアダイナミクス評価を行い、(1)p 型伝導化の成功と正孔物性の解明、(2) p 型・n 型での非輻射再結合過程の活性化エネルギーやメカニズムの違いの解明、(3) “SMART”超構造と名付けた(InN)<sub>m</sub>/(GaN)<sub>n</sub> 短周期超格子による欠陥低減とそれによる pn 接合特性改善提案、および本短周期超格子系の実現性確認等の成果を得た。

研究成果の概要（英文）：

Nitride semiconductors can be applied to optical devices for the wavelength from ultraviolet of about 0.2  $\mu\text{m}$  to infrared of about 2  $\mu\text{m}$ . For the purpose of the extension of the applicable wavelength range to extremely shorter and longer sides, we have characterized the nanostructure and carrier dynamics, and have obtained the following achievements: (1) success in p-type conductivity and characterization of hole properties, (2) characterization of nonradiative carrier recombination processes of the activation energy and recombination processes both for p and n-type materials, (3) proposal of (InN)<sub>m</sub>/(GaN)<sub>n</sub> superlattices of “SMART” super-structures for the achievement of high quality pn-junction, and the first fabrication of the superlattice structures.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
平成 18 年度	27,100,000	0	27,100,000
平成 19 年度	35,500,000	0	35,500,000
平成 20 年度	33,500,000	0	33,500,000
平成 21 年度	16,600,000	0	16,600,000
平成 22 年度	16,600,000	0	16,600,000
総計	129,300,000	0	129,300,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学

キーワード：窒化物半導体、窒化インジウム、極広域分光、キャリアダイナミクス、表面・界面物性、ナノ構造デバイス、MBE エピタキシャル、超格子、擬似混晶

## 1. 研究開始当初の背景

研究開始当初、窒化物半導体では、青色波長領域での発光ダイオード(LED)やレーザーダイオード(LD)が実用化し、これらの発光波

長の緑色領域への長波長化と紫外領域への短波長化の開発が行われていた。また、窒化物半導体の禁制帯幅は約 0.6 – 2 eV であり、AlN, GaN, および InN の組成制御により紫

外線から赤外線までの光デバイス製作が原理的に可能であることが分かったところであった。これらのフロンティア波長域では内部量子効率が非常に小さいという問題があった。短波長域では、p型ドーピングの困難性、分極電場による輻射再結合速度の減少、Al添加量増加に伴う非輻射再結合中心の増加があり、長波長域では同じく分極電場効果やInGaNとGaNの歪緩和による非輻射再結合中心の増加、混晶組成の不均一性によるレーザーダイオード利得の大きな分散などが問題となっていた。

一方、長波長側材料の物性については、2000-2004年ごろにInNの禁制帯幅が0.63 eV程度とわかり、混晶系の禁制帯幅や電子有効質量などのデバイス設計パラメータの殆どに見直しの必要が生じた。またp型化の研究が始められたところで、正孔物性などは不明であった。またIn組成が30%を超える混晶では、混晶組成の空間的不均一性やヘテロ接合における大きな歪、太陽電池におけるpn接合での漏れ電流など光デバイス応用への障壁は大きく、MBEを中心としたエピタキシー制御の試みだけでは“デバイスグレード”となるInGaNは困難であった。

このため、窒化物半導体の光デバイス応用波領域の長波長域への拡大のためには、高In組成窒化物半導体の基礎物性解明と伴に、伝導性制御やキャリアダイナミクス評価による非輻射性再結合過程解明、pn接合特性向上を図る新たな方策が必要であった。

## 2. 研究の目的

窒化物半導体光素子における紫外域および緑・赤・赤外領域への波長範囲拡大と、その領域における飛躍的発光効率向上を目標とする本特定領域研究において、我々は長波長側を主たる対象とし、とりわけInN、高In組成混晶、およびそれらの関連ナノ構造を研究対象とした。特に、キャリアの輻射/非輻射再結合過程、デバイス作製に必要な伝導特性などの解明を行い、高In組成混晶の高効率輻射のための指針を明らかにし、発光デバイスにおける動作波長域の長波長側への拡大、さらに長波長側への拡大が必須な太陽電池などの新たな光デバイスへ展開することを研究目的とした。

具体的には、(1)極広域分光手法の確立による結晶特性の精密評価、(2)高In組成域の物性解明、(3)高In組成域におけるp型伝導制御と正孔物性解明、(4)高In組成域における非輻射性電子・正孔再結合過程の解明、(5)高In組成域ナノ構造における量子井戸構造設計と光通信波長帯域の発光素子構造の実現を目的とし、これらの研究の中から(6)高In組成混晶を用いたpn接合における漏れ電流を抑制する新たなナノ構造の提案とその

構造制御物理の解明がなされた。

## 3. 研究の方法

本研究では、InNに特有であり、電気的物性測定の際の障害となっている結晶表面付近および基板界面付近の電子蓄積層の影響を赤外分光・解析手法を用いて解決した。これは、赤外線のうちInNにおけるプラズモンやフォノンエネルギー域に相当する波長域における光侵入長の大きな分散を利用した解析手法である。その他、時間分解カソードルミネッセンスなどを含めた局所高速分光など極広域分光により、InNおよび高In組成InGaN混晶およびそのナノ構造における主な物性値を解明し、キャリア散乱特性、発光特性などデバイス性能に直接関わる結晶特性と結晶欠陥との関連を解明し、InN系材料の本来の物性発現を妨げている結晶欠陥種やキャリアダイナミクスの解明を進めた。

## 4. 研究成果

(1)極広域分光手法の確立による結晶特性の精密評価: 波長50 μmにおよぶ赤外分光エリプソメトリにより、表面・基板界面・内部領域のキャリア特性を区別した解析が可能となり、これにより内部領域残留電子密度測定や内部領域電子・正孔物性の解明を行った。時間分解CL法開発により、ナノ空間・ナノ秒分解でのCL測定を行い、In<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>Nのキャリア寿命を求めた。

(2)高In組成域混晶の物性解明: In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nの禁制帯幅 $E_g(x)$ は光吸収スペクトルを高密度残留電子によるバンドフィリング効果、多体効果を考慮して解析され、14 Kの低温で、励起子効果が含まれないバンド端の値として、 $E_g(x)=0.675x+3.5(1-x)-1.0(\pm 0.2)x(1-x)$ と求められた。また、In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N結晶における局在した電子正孔の再結合寿命はGaNに対して大きく、 $x=0.5$ では低温でも1.7 ns程度あり、組成不均一性による電子正孔波動関数の分離が推定される。

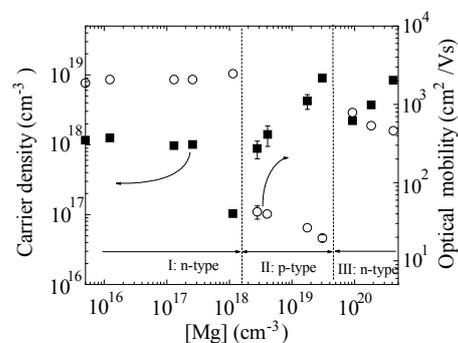


図1 Mgドーピング密度に対するキャリア密度および移動度。

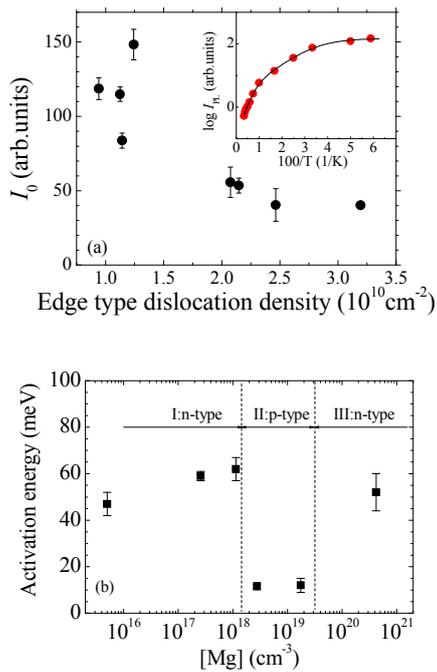


図2 (a) n型InNでの低温極限発光強度と転位密度との関係. 挿入図は発光強度のアレニウスプロットの例. (b)非輻射再結合過程活性化エネルギーのMg密度依存性.

(3)高In組成域におけるp型伝導制御と正孔物性解明: アンダードープInN結晶では内部領域で $2 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ までの残留電子密度低減を確認した. InNおよび $\text{In}_{0.7}\text{Ga}_{0.3}\text{N}$ へのMgドープにより, p型化の達成を確認した. 図1ドーピングされたMg密度とキャリア密度との関係を示す. これに基づき, InNのpn接合構造を製作し, 整流特性を確認した. 正孔特性では, Mgドープによりデバイス化に十分な $10^{19} \text{cm}^{-3}$ 近い正孔密度が得られ,  $0.06m_0$ 程度の有効質量, 低Mg密度で70 meV程度の活性化エネルギーを有することが分かった.

(4)高In組成域における非輻射性電子・正孔再結合過程の解明: 非輻射再結合過程は, 低温では転位付近で発生していることが分かった. 図1にn型InNの発光強度のアレニウスプロットのフィッティングから得られた低温極限発光強度を示す. n型における評価より非輻射再結合は低温では主に転位周りで起こり, 温度上昇に伴い, その他の点欠陥や複合欠陥により発光強度減衰が起こることを見出した. また, 温度上昇による発光強度減少をもたらす欠陥は, n型およびp型InN試料で共通ある可能性が強いことが分かった. p型結晶の発光が特に弱い原因について, 少数キャリアである電子の拡散長の影響を定量的に示し, 図2(b)に示す非輻射過程の活

性化エネルギーがn型結晶に対して1/4程度と小さいためであることを解明した.

(5)量子井戸構造設計と光通信波長帯域の発光素子構造の実現: 量子井戸幅が0.5から1.5 nmである $\text{InN}/\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 多重量子井戸の作製を行い, 室温フォトルミネッセンス波長の1.42から1.81  $\mu\text{m}$ まで制御が確認され, 光通信帯域での発光が達成された. 圧電分極電界が $10^6 \text{V/cm}$ のオーダーであり, 実験・理論両面からの振動子強度評価により高効率な赤外域デバイスが実現可能であることを示した.

(6)漏れ電流低減する超格子構造の提案と実現性の確認: InGaNのpn接合で見られた漏れ電流を飛躍的に低減するため, 図3に示す $(\text{InN})_m/(\text{GaN})_n$ 短周期超格子による擬似混晶を用いて, SMART  $(\text{InN})_1/(\text{GaN})_n$  ( $n = 20\sim 7 \text{ML}$ )提案を行った. これは, 混晶組成不均一性に起因する結晶欠陥発生を防ぎ, かつタンデム型太陽電池における各セル間の電流保存を満足する太陽光スペクトル分割に適した画期的構造である. 太陽電池では2-4段のタンデム構造において, この超格子は簡単な整数比( $m, n$ )を用いて構成でき, かつ成長温度をInNに対して高くできるマジック超構造であることからSMART擬似混晶と名付けた. 我々は, 図4に示すようにSMART  $(\text{InN})_1/(\text{GaN})_n$  ( $n = 20\sim 7 \text{ML}$ )では, コヒーレント成長を確認し, 本超格子の実現性を示した.

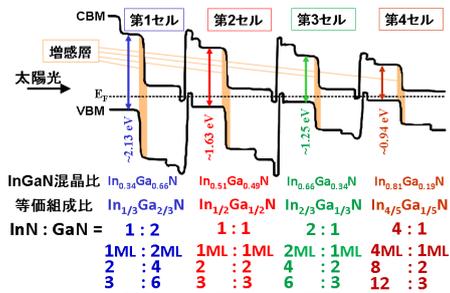


図3 SMART構造を用いたタンデム型太陽電池構成例.

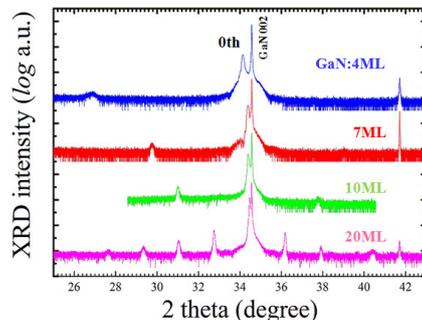


図4  $(\text{InN})_1/(\text{GaN})_n$ 短周期超格子X線回折結果

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 57 件)、以下全て査読有り

- (1) D.Imai, Y.Ishitani, M.Fujiwara, X.Q.Wang, K.Kusakabe, and A.Yoshikawa, “Carrier recombination processes in Mg-doped N-polar InN films”, Applied Physics Letters **98**, 181901, (2011).
- (2) A. Yoshikawa, X. Wang, Y. Ishitani, and A. Uedono, “Recent advances and challenges for successful p-type control of InN films with Mg acceptor doping by molecular beam epitaxy”, phys. stat. sol.(a) **207**(5), 1011-1023 (2010).
- (3) A. Uedono, X. Wang, Y. Ishitani, A. Yoshikawa(8 番目), 他 5 名, “Vacancy-type defects in Mg-doped InN probed by means of positron annihilation”, J. Appl. Phys. **105**, 054507 (2009).
- (4) Q. Zhang, X. Wang, Y. Ishitani(9 番目), A. Yoshikawa(10 番目), 他 6 名, “Lattice polarity detection of InN by circular photogalvanic effect”, Appl. Phys. Lett. **95**, 031902 (2009).
- (5) L. H. Dmowski, X. Wang, A. Yoshikawa(7 番目), 他 8 名, “Search for free holes in InN: Mg-interplay between surface layer and Mg-acceptor doped interior”, J. Appl. Phys. **105**, 123713 (2009).
- (6) A. Yoshikawa, S.B. Che, Y. Ishitani, and X. Wang, “Advances in InN epitaxy and its material control by MBE towards novel InN-based QWs”, J. Crystal Growth **311** (7), 2073 (2009).
- (7) S.B. Che, A. Yuki, H. Watanabe, Y. Ishitani, and A. Yoshikawa, “Fabrication of Asymmetric GaN/InN/InGaN/GaN Quantum-Well Light Emitting Diodes for Reducing the Quantum-Confined Stark Effect in the Blue-Green Region”, Applied Physics Express **2**, 021001 (2009).
- (8) Y. Ishitani, K. Kato, H. Ogiwara, S.B. Che, and A. Yoshikawa, “Carrier recombination processes in In-polar n-InN in regions of low residual electron density”, **106**, 113515 (2009).
- (9) 石谷善博, 藤原昌幸, 吉川明彦, “InN の結晶欠陥とキャリアダイナミクス”, 日本結晶成長学会誌 **36**, 45 (2009).
- (10) G. Franssen, Y. Ishitani(10 番目), A. Yoshikawa(11 番目), 他 10 名, “Bowing of the band gap pressure coefficient in  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  alloys”, J. Appl. Phys. **103**, 033514 (2008).
- (11) A. Yoshikawa and S.B. Che, “Proposal of Novel Structure Light Emitting Devices Consisting of InN/GaN MQWs with Ultrathin InN Wells in GaN Matrix”, International Journal of High Speed Electronics and Systems **18**, 993 (2008).
- (12) X. Wang, S.B. Che, Y. Ishitani, and A. Yoshikawa, “Hole mobility in Mg-doped p-type InN films”, Appl. Phys. Lett. **92**, 132108 (2008).
- (13) A. Yoshikawa, Y. Ishitani(5 番目), X. Wang(6 番目), 他 3 名, “Fabrication and characterization of novel monolayer InN quantum wells in a GaN matrix”, J. Vac. Sci. Tech. **B 26**, 1551 (2008).
- (14) M. Fujiwara, Y. Ishitani, X. Wang, S.B. Che, and A. Yoshikawa, “Infrared analysis of Mg-doped p-type InN films”, Appl. Phys. Lett. **93**, 231903 (2008).
- (15) Y. Ishitani, M. Fujiwara, X. Wang, S.B. Che, and A. Yoshikawa, “Anisotropic damping of longitudinal optical phonon-plasmon coupling modes of InN films”, Appl. Phys. Lett. **92**, 251901 (2008).
- (16) Y. Ishitani, X. Wang, S.B. Che, and A. Yoshikawa, “Effect of electron distribution in InN films on infrared reflectance spectrum of longitudinal optical phonon-plasmon interaction region”, J. Appl. Phys. **103**, 053515 (2008).
- (17) X. Wang, S.B. Che, Y. Ishitani, and A. Yoshikawa, “Systematic study on p-type doping control of InN with different Mg concentrations in both In and N polarities”, Appl. Phys. Lett. **91**, 242111 (2007).
- (18) S.B. Che, T. Mizuno, X. Wang, Y. Ishitani, and A. Yoshikawa, “Fabrication and properties of coherent-structure In-polarity InN / $\text{In}_{0.7}\text{Ga}_{0.3}\text{N}$  multi-quantum wells emitting at around 1.55  $\mu\text{m}$ ”, J. Appl. Phys. **102**, 083539 (2007).
- (19) X. Wang, S.B. Che, Y. Ishitani, A. Yoshikawa, H. Sasaki, T. Shinagawa, and S. Yoshida, “Polarity inversion in high Mg-doped In-polar InN epitaxial layers”, Appl. Phys. Lett. **91**, 081912 (2007).
- (20) X. Wang, S.B. Che, Y. Ishitani, and A. Yoshikawa, “Growth and properties of Mg-doped In-polar InN films”, Appl. Phys. Lett. **90**, 201913 (2007).
- (21) X. Wang, S.B. Che, Y. Ishitani, A. Yoshikawa, “Threading dislocations in In-polar InN films and their effects on surface morphology and electrical properties”, Appl. Phys. Lett. **90**, 151901 (2007).
- (22) X. Wang, S.B. Che, Y. Ishitani, and A. Yoshikawa, “In situ spectroscopic ellipsometry and RHEED monitored growth of InN nanocolumns by molecular beam epitaxy”, J. Cryst. Growth **301/302**, 496 (2007).
- (23) A. Yoshikawa, S.B. Che, W. Yamaguchi, H.

- Saito, X. Wang, Y. Ishitani, and E.S. Hwang, "Proposal and achievement of novel structure InN/GaN multiple quantum wells consisting of one monolayer and fractional monolayer InN wells inserted in GaN matrix", Appl. Phys. Lett. **90**, 073101 (2007).
- (24) 吉川明彦, 他2名, "InN系窒化物半導体のエピタキシ制御とナノ構造作製", 応用物理 **76**, 482 (2007).
- (25) Y. Ishitani, T. Ohira, X. Q. Wang, S.B. Che, and A. Yoshikawa, "Broadening factors of E1(LO) phonon-plasmon coupled modes of hexagonal InN investigated by infrared reflectance measurements", Physical Review B **76**, 045206 (2007)
- (26) S. B. Che, T. Shinada, T. Mizuno, X. Wang, Y. Ishitani, and A. Yoshikawa, "Effect of precise control of V/III ratio on In-rich InGaN epitaxial growth", Japanese Journal of Applied Physics **45**, pp. L1259 (2006)
- (27) X. Wang, S. B. Che, Y. Ishitani, and A. Yoshikawa, "Step-flow growth of In-polar InN by molecular beam epitaxy", Japanese Journal of Applied Physics **45**, pp. L730 (2006)
- (28) X. Wang, S. B. Che, Y. Ishitani, and A. Yoshikawa, "Effect of epitaxial temperature on N-polar InN films grown by molecular beam epitaxy", Journal of Applied Physics **90**, pp. 73512 (2006)
- [学会発表] (計 174 件)、以下全て招待講
- (1) Y. Ishitani, A. Yoshikawa, 他 4 名 "Electron and hole scattering dynamics in InN films investigated by infrared measurements". European Material Research Society Spring Meeting, Nice, France, May9-14 (2011)
- (2) A. Yoshikawa, 他 2 名, "Proposal of novel asymmetric structure GaN/1ML-InN/InGaN /GaN QWs for III-N based next generation high efficiency solar cells", 19th European Workshop on Heterostructure Technology: HETECH, Fodele, Crete, Greece, October 18 - 20, (2010).
- (3) Y. Ishitani, A. Yoshikawa, 他 5 名, "Carrier scattering and non-radiative recombination properties of n-type and p-type InN films", International Workshop on Nitride Semiconductors, L1.9, Tampa, USA, September 19-24 (2010)
- (4) M. Fujiwara, Y. Ishitani, A. Yoshikawa, 他 2 名, "Mg impurity level in highly doped p-type InN studied by temperature dependence of infrared spectra" International Workshop on Nitride Semiconductors, L1.2, Tampa, USA, September 19-24 (2010)
- (5) K. Kusakabe, Y. Ishitani, and A. Yoshikawa, "Quasi-ternary multi-junction solar cells with magic numbers (n,m)", International Workshop on Nitride Semiconductors, J2.8, Tampa, USA, September 19-24 (2010)
- (6) A. Yoshikawa, 他 3 名, "Novel one monolayer-InN/InGaN/GaN asymmetric structure QWs for next generation high efficiency solar cells", 16<sup>th</sup> International Conference on Crystal Growth (ICCG-16), Beijing International Convention Center, Beijing, China, August 8-13, (2010).
- (7) A. Yoshikawa, 他 2 名, "Asymmetric structure GaN/1ML-InN/InGaN/GaN QWs and its application for next generation high efficiency solar cells", 18<sup>th</sup> International Symposium on Nanostructures: Physics and Technology, St. Petersburg Academic University, St. Petersburg, Russia, June 21-26, (2010).
- (8) A. Yoshikawa, 他 3 名, "Spectroscopic ellipsometry study for achieving superfine-structure one monolayer-thick InN/GaN-matrix QWs by MBE", 5<sup>th</sup> International Conference on Spectroscopic Ellipsometry (ICSE-V), State University of New York, Albany NY, USA, May 23-28, (2010).
- (9) A. Yoshikawa, 他 2 名, "Asymmetric Structure GaN/InN/InGaN/GaN QWs for Next Generation High Efficiency Solar Cells and Novel Light Emitters", Advanced Workshop on "Frontiers in Electronics" (WOFE 09), Rincon, Puerto Rico, December 13-16, (2009).
- (10) A. Yoshikawa, "Growth of novel one-monolayer-InN/GaN-matrix nanostructure", Workshop on "Physics of nitride-based nanostructured light-emitting devices", Univ. of Bremen, Germany, September 30 - October 2, (2009)
- (11) Y. Ishitani, A. Yoshikawa, 他 3 名, "Deterioration of electronic and radiative properties in n- and p-type InN films by edge-type dislocations", 8<sup>th</sup> International Symposium on Nitride Semiconductors, FF3, October 18 - 23 (2009), Jeju, Korea
- (12) A. Yoshikawa, 他 2 名, "Proposal of III-N-based Novel Next generation Solar Cells and Novel Blue-Green Light Emitters", 11th Int. Conference on Advanced Materials (ICAM 2009), Symposium M "Frontiers in Photonics & Photovoltaic Materials and Process", Rio de Janeiro, Brazil, September 23-25, (2009).
- (13) A. Yoshikawa, 他 3 名, "Recent Advances

and Challenges for successful p-type control of InN films with Mg acceptor doping by MBE”, 2009 European Material Research Society (E-MRS 2009) Fall Meeting, “A: InN material and alloys”, Warsaw, Poland, September 14-18, (2009).

(14) A. Yoshikawa, 他 2 名, “**Monolayer growth of InN on GaN and its potential application to novel LEDs/LDs**”, 2009 European Material Research Society (E-MRS 2009) Spring Meeting, Strasbourg, France, June 8-12, (2009).

(15) A. Yoshikawa, 他 2 名, “**Proposal and achievement of novel visible-range optoelectronic devices based on 1 and 2 monolayer-thick InN QWs in GaN matrix**”, The International Society for Optical Engineering (SPIE) Photonics West: Gallium Nitride Materials and Devices IV, San Jose, USA, January 26-29, (2009).

(16) Y. Ishitani, A. Yoshikawa, 他 3 名, “**Hole density and anisotropic mobility of Mg-doped InN from the analysis of LO phonon - hole plasmon coupling properties**”, International Workshop on Nitride Semiconductors, Montreux, Switzerland, 6 - 10 October (2008)

(17) X. Wang, S. B. Che, Y. Ishitani, and A. Yoshikawa, “**Study on p-type dopability and polarity inversion in Mg-doped In-polar InN**”, 7<sup>th</sup> International Conference on Nitride Semiconductors, Las Vegas, USA, September 16-21 (2007)

(18) S. B. Che, Y. Ishitani, and A. Yoshikawa, 他2名, “**1.55 $\mu$ m emission from In-polarity InN/In<sub>0.7</sub>Ga<sub>0.3</sub>N multi-quantum wells at room temperature**”, International Workshop on Nitride Semiconductors 2006, Kyoto, Japan, October 22 - 27 (2006)

(19) A. Yoshikawa, Y. Ishitani, 他 3 名, “**Proposal of a new fine structure of InN/GaN MQWs: One monolayer and fractional monolayer InN wells in GaN barriers**”, Physics of Light Matter Coupling in Nanostructures, Magdeburg, Germany, September 25 - 29 (2006)

[図書] (計 4 件)

(1) “**Wide bandgap semiconductors**”, Springer Berlin, 2007 年 3 月 総 460 ページ、K. Takahashi, A. Yoshikawa, and A. Sandhu 編集、著者:A. Yoshikawa, Y. Ishitani 他 66 名(A. Yoshikawa, pp.1-11, 407-414, Y. Ishitani, pp. 36-41)

[産業財産権]

○出願状況 (計 12 件)

(1) 名称: 光電変換装置

発明者: 吉川明彦、石谷善博、草部一秀  
権利者: 吉川明彦、石谷善博、草部一秀  
種類: PCT 出願

番号: PCT/JP2011/055882  
出願年月日: 2011 年 3 月 14 日  
国内外の別: 国外

(2) 名称: 光電変換装置  
発明者: 吉川明彦、石谷善博、草部一秀  
権利者: 吉川明彦、石谷善博、草部一秀  
種類: PCT 出願

番号: PCT/JP2010/63336  
出願年月日: 2010 年 8 月 5 日  
国内外の別: 国外

(3) 名称: 光電変換装置  
発明者: 吉川明彦、石谷善博、草部一秀  
権利者: 吉川明彦、石谷善博、草部一秀  
種類: PCT 出願

番号: PCT/JP2010/63335  
出願年月日: 2010 年 8 月 5 日  
国内外の別: 国外

○取得状況 (計 2 件)

(1) 名称: 半導体薄膜の形成方法およびその方法を用いて製造された半導体薄膜付き基板およびその半導体薄膜付き基板を用いた半導体デバイス

発明者: 吉川明彦 他  
権利者: 吉川明彦 他  
種類: 特許

取得年月日: 平成 20 年 9 月 19 日  
番号: 4187422  
国内外の別: 国内

[その他]

ホームページ等

<http://www.semi.te.chiba-u.jp>

6. 研究組織

(1)研究代表者  
吉川 明彦 (YOSHIKAWA AKIHIKO)  
千葉大学大学院・工学研究科・教授  
研究者番号: 20016603

(2)研究分担者  
石谷 善博 (ISHITANI YOSHIHIRO)  
千葉大学大学院・工学研究科・教授  
研究者番号: 60291481

(3)研究分担者 (平成 18 年度～平成 20 年度)  
崔 成伯 (CHE SONGBEK)  
千葉大学大学院・工学研究科・助教  
研究者番号: 00361410

(4)連携研究者(平成 21 年度～平成 22 年度)  
草部 一秀 (KUSAKABE KAZUHIDE)  
千葉大学大学院・工学研究科・特任准教授  
研究者番号: 40339106