

平成 22 年 5 月 14 日現在

研究種目：基盤研究 (B)

研究期間：2007 ~ 2009

課題番号：19360141

研究課題名 (和文) 固相 C<sub>60</sub> 及びグラフェンを用いた炭素系デバイスの基礎研究研究課題名 (英文) Basic Research for Carbon Electronics Devices using Solid C<sub>60</sub> and/or Graphene

研究代表者

橋本 明弘 (Akihiro Hashimoto)

福井大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：10251985

研究成果の概要 (和文)：

本研究は、固相 C<sub>60</sub>FET のゲート膜として(1)Si あるいは導電性 SiC 基板上の単結晶 AlN 薄膜を用いること、及び(2)平坦化された SiO<sub>2</sub> 膜上にグラフェンを転写して規則的なパターンを形成する、という 2 つの新たな方法を提案することにより単結晶 C<sub>60</sub> 薄膜と絶縁膜の制御された界面を形成することで電界効果によるキャリア注入の本質を明らかにしようとするものである。

研究の結果、以下の知見を得た。すなわち、前記(1)については、理想界面を有する固相 C<sub>60</sub> 層のエピタキシャル成長に必要な 6H-SiC 基板の原子レベルで表面平坦な AlN 表面の形成には、CMP 処理 SiC (0001) 基板の減圧水素高温処理により 6ML 高さにステップ制御をした基板が必要であることを明らかにした。また、(2)については、微傾斜 SiC 基板上に形成したグラフェン多層膜上には、固相 C<sub>60</sub> が、ステップフローモードで成長することを見出し、核形成を電子線照射により制御できることを明らかにした。また、層数を制御した 1 層グラフェン層及び 2 層グラフェン層を SiO<sub>2</sub> 基板上への大面積直接転写に世界で初めて成功した。これらの研究成果は、理想的な界面形成技術の向上に大きな寄与を与えるものと考えられ、固相 C<sub>60</sub> 及びグラフェンを用いた炭素系デバイスの研究に大きく貢献するものと考えられる。

研究成果の概要 (英文)：

In this study, we have investigated on new structures for C<sub>60</sub> FET with insulator layer consist of (1) single crystalline AlN or (2) SiO<sub>2</sub> layer covered with transferred graphene layer. In conclusion, we have obtained several important results as follows. That is, for (1) single crystalline AlN insulator layers, we have concluded that the single crystalline AlN layer with atomically flat surface can be obtained by the epitaxial growth of AlN on the 6H-SiC substrate with the H<sub>2</sub> gas annealing under the low-pressure and high-temperature conditions. For (2) the SiO<sub>2</sub> layer covered with the transferred graphene, we have first successfully transferred the large area graphene with mono- or bi- layer thickness from the surface of SiC substrate covered with the epitaxial graphene onto SiO<sub>2</sub> layer and we have also first successfully achieved the solid C<sub>60</sub> layer epitaxy with step-flow mode on the graphene layer. The achieved results will bring a large contribution to fabrication technology of the ideal interface and will give a strong impact for the technology of the carbon electronics using the solid C<sub>60</sub> and/or the graphene materials.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	6,600,000	1,980,000	8,580,000
2008年度	5,900,000	1,770,000	7,670,000
2009年度	1,700,000	510,000	2,210,000
総計	14,200,000	4,260,000	18,460,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電子・電気材料工学

キーワード：電気・電子材料（半導体、誘電体、磁性体、超誘電体、有機物、絶縁体、超伝導体など）、固相 C<sub>60</sub> 薄膜、グラフェン、炭素系デバイス、SiC 基板、電界効果トランジスタ、AlN 単結晶薄膜

1. 研究開始当初の背景

有機半導体を用いた電界効果デバイス (FET: Field Effect Transistor) の研究がカーボンナノチューブや有機分子について多数の研究機関で盛んに行われている。しかしながら、N 型材料として優れた特性を有する固相 C<sub>60</sub> 薄膜への電界効果によるキャリア注入については、魅力的なアイデアであるにもかかわらず、ベル研究所でのデータ捏造事件の影響もあり、近年研究が停滞していることは否めない。従って、今一度基本に立ち戻り理想的な C<sub>60</sub>/絶縁膜界面を形成して電界効果によるキャリア注入の基礎的な物性を明らかにすることが必要であると考えられる。

現在でも、産総研や東北大学、北陸先端大学院大学など国内外のいくつかの研究機関において主に SiO<sub>2</sub> 上の固相 C<sub>60</sub> を用いた FET の研究が継続されており、有機 FET において固相 C<sub>60</sub> が優れた N 型特性を有する材料であることなど電界効果によるキャリア注入そのものの物性は徐々にではあるがあきらかになりつつあると考えられる。本研究は、このような状況の中で、後述するように従来の SiO<sub>2</sub> 膜を用いた場合に避けられない問題点を解決するために、(1)単結晶 AlN 薄膜を用いることにより従来にない原子レベルで制御された C<sub>60</sub>/AlN 界面を形成する方法と(2)グラファイトの 1 原子層のシートであるグラフェンを原子レベルで平坦化された SiO<sub>2</sub> 膜上に転写した後に固相 C<sub>60</sub> 単結晶薄膜を形成することにより従来にない原子レベルで制御された C<sub>60</sub>/AlN 界面を形成する方法を用いて理想的な界面を形成し、電界効果によるキャリア注入の基礎物性を解明するとともに、従来のデバイス特性の飛躍的な改善を図ろうとするものである。

上述のように、現在、国内外で継続されている研究のうち、信頼のおけるデータを提供し得るものは SiO<sub>2</sub> 上の C<sub>60</sub> 薄膜を用いた FET 構造のデータのみである。しかしながら、この系では、SiO<sub>2</sub> 上への C<sub>60</sub> 単結晶成長が望めないという根本的な

欠点を有するため、C<sub>60</sub>/絶縁膜界面のアモルファス C<sub>60</sub> 層側に誘起されるチャンネルにおける伝導状態は、アモルファス Si デバイスと同様に複雑なものになり、特性の向上が望み難く、研究の進展を妨げているものと考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、以上のような欠点を克服するためゲート膜として(1)Si あるいは導電性 SiC 基板上の単結晶 AlN 薄膜を用いること、及び(2)平坦化された SiO<sub>2</sub> 膜上にグラフェンを転写して規則的なパターンを形成する、という 2 つの新たな方法を提案することにより単結晶 C<sub>60</sub> 薄膜と絶縁膜の制御された界面を形成することで電界効果によるキャリア注入の本質を明らかにしようとするものである。我々はこの数年、単結晶 Si をはじめとする半導体基板への C<sub>60</sub> 単結晶薄膜の作成を目指して、超高真空蒸着法によるファンデルワールスエピタキシーに関して研究を行ってきた。その結果、水素終端した Si 基板上へ 2 段階成長を行うことによりこれまで以上に大きな単結晶ドメインを得ることが出来ることや窒化物半導体である六方晶 GaN 上に C<sub>60</sub> 薄膜の形成が可能であることなどを明らかにしてきた。これらの成果は、Journal of Crystal Growth 227-228, (2001) 825-833 及び Physica Status Solidi 等に掲載されている。また、図 3 に示すように Si 及び SiC 基板上の多結晶 AlN を用いた C<sub>60</sub>/AlN FET を試作し、従来の構造より優れた特性を有していることも Diamond & Related Materials 14, (2005) 518-521 に報告してきた。しかしながら、これまでの研究により理想的な C<sub>60</sub>/AlN 界面を形成するには、AlN 薄膜の単結晶性と表面平坦性の両者が必要不可欠であることが明らかになってきたが、現在のところ、未だ Si 及び SiC 基板上に原子レベルで平坦な厚み 500nm の程度の AlN 単結晶薄膜を用いるには至っておらず、理想的な C<sub>60</sub>/AlN 界面を得るには至

っていない。また、近年グラファイトの1原子層で形成されているグラフェンの作製法が発見され、その特異な電子的性質が着目されているが、このグラフェンを従来のアモルファス絶縁層であるSiO<sub>2</sub>上に転写することにより従来優れた絶縁膜であるSiO<sub>2</sub>膜が有している根本的欠陥である表面不規則性の問題点を解決できる可能性があり、そうなれば固相C<sub>60</sub>をはじめとする炭素系デバイスの特性が飛躍的に向上し、新たな炭素系デバイスの時代の幕開けとなることが期待できる。

### 3. 研究の方法

本研究では、超高真空蒸着装置を用いて、Siあるいは導電性SiC基板上にゲート膜となる原子レベルで平坦な単結晶AlN膜を形成し、その上にさらにC<sub>60</sub>薄膜の単結晶成長を行うことにより電界効果型C<sub>60</sub>デバイスを作製し、その電気伝導度の温度特性などの伝導特性を調べた。また、SiC基板を真空加熱することにより表面にグラフェンを形成した後、Si基板のSiO<sub>2</sub>薄膜上にグラフェンを転写した後、その上に上記と同様のC<sub>60</sub>FET構造を作製し、その伝導特性を調べた。

H19年度は、主に、(1)高抵抗AlN単結晶薄膜のSiあるいはSiC基板上への原子レベルで表面平坦な成長条件の探索、及び(2)SiC基板の真空加熱によるグラフェン形成条件の最適化及びSi基板のSiO<sub>2</sub>薄膜上へのグラフェン膜の転写条件の確立に研究の主眼を置いた。AlN単結晶層の成長後の表面平坦性は、その後のC<sub>60</sub>薄膜の形成に大きな影響を及ぼすことから、原子レベルで出来るだけ平坦なAlN成長を目指した。目標値は、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>基板の窒化によって得られる典型的な表面粗さである0.2nm程度の膜厚500nmの実現を目指した。また、SiC基板の真空加熱によるグラフェン作製とSiO<sub>2</sub>膜上への再現性の高い転写条件の確立を目指した。さらに、AlN表面の平坦性やグラフェンの存在がC<sub>60</sub>界面の電子状態に与える影響について光学および電氣的評価を行った。

H20年度は、前年度の成果に基づいて、H20年度は、両タイプの界面構造を用いた電界効果型デバイスの試作を通して、安定したデバイスプロセスの確立を目標に置いた。

H21年度は、前年度までの成果に基づいて、両タイプの界面構造を用いた電界効果型デバイス特性の向上を通して、当初の目標であった界面構造の最適形成条件を明らかにすること及び界面特性とデバイス特性の相関を明らかにし、電界効果によるキャリア注入機構の解明を主な目標に置いた。また、プレーナー技術の適応が容易であるグラフェンFETに関しては、集積化を含めて、電子波デバイスへの応用など次世代炭素系デバイスとしての可能性と問題点の抽出を行った。

本研究課題の主題であるC<sub>60</sub>/AlN電界効果デバイスの作製においては、単結晶AlN薄膜の表

面平坦性、AlN膜の耐圧、ピエゾ効果との関係などがもっとも重要なポイントとなると考えまた、固相C<sub>60</sub>とグラフェン界面の物性は未知であるため、この系で目論見どおりの構造が出来たとしても、固相C<sub>60</sub>デバイスで期待される正孔注入の可能性などの特性が得られるかどうかは未知であると考えられた。以上のような困難のため、研究が当初計画どおりに進まない場合には、当初の高性能固相C<sub>60</sub>電界効果デバイスの実現に最後までこだわることなく、本研究課題の重要な副産物系として考えているグラフェンFETと固相C<sub>60</sub>薄膜の組み合わせによる新たな炭素系デバイスの探求に研究課題の変更を行うことも検討することとした。例えば、大面積グラフェンの形成は、近年特に重要なテーマとなりつつあるので、研究全体を安定して形成できるグラフェンの形成法にシフトし、通常SiC基板としては商用にならないマイクロパイプの密度が高いSiC基板を用いて、マイクロパイプの存在による自己停止機能を有する大面積グラフェン形成法を新たに提案し、実証することを目指した。通常はかなり多くのナノパイプがSiC基板には含まれており、パワーデバイス用の基板としては大きな問題であるが、グラフェン形成にはこのマイクロパイプの存在が重要な役割を果たすと考えていた。従って、この研究テーマの成功は、これまで不良品として片付けられてきたSiC基板の有効利用につながる可能性を有していた。

### 4. 研究成果

H19年度の研究成果としては、(1)当初目標にしていた6H-SiC基板上の原子レベルで表面平坦なAlN表面の形成には、CMP処理SiC(0001)基板の減圧水素高温処理による6ML高さのステップ制御が必要であることが、調査の結果明らかになった。(2)微傾斜SiC基板上に形成したグラフェン多層膜上には、固相C<sub>60</sub>が、ステップフローモードで成長することを見出し、核形成を電子線照射により制御できることを明らかにした。(3)当初の目標の一つであったグラフェン層のSiO<sub>2</sub>基板上への直接転写の可能性を示すことが出来た。

H20年度の研究成果としては、(1)CMP処理した6H-SiC(0001)基板の減圧水素高温処理による6ML高さのステップ制御をした基板を用いて原子レベルで表面平坦なAlN表面を有する基板を入手し、固相C<sub>60</sub>のエピタキシャル成長をはじめた。(2)微傾斜SiC基板上に形成したグラフェン多層膜を大面積で再現性良く引き剥がす技術を確認し、当初の目標の一つであったグラフェン層のSiO<sub>2</sub>基板上への直接転写の可能性を示すことが出来た。

H21年度の研究成果としては、(1)平坦なAlN上の固相C<sub>60</sub>層のエピタキシャル成長に改善を必要とする表面処理上の課題を見出した、(2)微傾斜SiC基板上に形成したグラフェン多層膜を大面積で再現性良く引き剥がす技術を確認し、当初の目標であ

る層数を制御した1層グラフェン層及び2層グラフェン層をSiO<sub>2</sub>基板上への直接転写することに成功した。

これらの研究成果は、理想的な界面形成技術の向上に大きな寄与を与えるものと考えられ、固相C<sub>60</sub>及びグラフェンを用いた炭素系デバイスの研究に大きく貢献するものと考えられる。

## 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 25 件)

- [01] A. Hashimoto, Handbook of Nanophysics: Nano-electronics & Nanophotonics **6**, 15.01–15.22 (2010).
- [02] M. Horie, K. Sugita, A. Hashimoto, and A. Yamamoto, Solar Energy Materials and Solar Cells **93**, 1013-1015 (2009).
- [03] Md. R. Islam, K. Sugita, M. Horie, A. Hashimoto, and A. Yamamoto, J. Cryst. Growth, **31**, 2817-2820 (2009).
- [04] K. Sugita, A. Hashimoto, and A. Yamamoto, Phys. Status Sol. (c) **6**, 393-396 (2009).
- [05] K. Sugita, A. Hashimoto, and A. Yamamoto, Phys. Status Sol. (c) **6**, 389-392 (2009)
- [06] T. T. Kang, M. Yamamoto, M. Tanaka, A. Hashimoto, and A. Yamamoto, J. Appl. Phys. **106**, 053525-1-053525-4 (2009).
- [07] T. T. Kang, M. Yamamoto, M. Tanaka, A. Hashimoto, and A. Yamamoto, Optics Letters **34**, 2507-2509 (2009)
- [08] T. T. Kang, A. Hashimoto, and A. Yamamoto, Phys. Rev. **B79**, 033301 (2009).
- [09] A. Hashimoto, H. Terasaki, A. Yamamoto, and S. Tanaka Diamond & Related Materials **18**, 388-391 (2009).
- [10] A. Hashimoto, K. Iwao, S. Tanaka, and A. Yamamoto, Diamond & Related Materials **17**, 1622-1624 (2008).
- [11] Y. Houchin, A. Hashimoto, and A. Yamamoto, Phys. Status Sol. (c) **5**, 1571-1574 (2008).
- [12] A. Hashimoto, K. Iwao, and A. Yamamoto, Phys. Status Sol. (c) **5**, 1876-1878 (2008).
- [13] K. Iwao, A. Yamamoto, and A. Hashimoto, Phys. Status Sol. (c) **5**, 1771-1773 (2008).
- [14] K. Sugita, Y. Nagai, D. Matsuoka, A. Hashimoto, H. Harima, and A. Yamamoto, Phys. Status Sol. (c) **5**, 1765-1767 (2008).
- [15] A. Yamamoto, K. Sugita, Y. Nagai, and A. Hashimoto, Phys. Sta. Sol. (c) **5**, 1762-1764 (2008).
- [16] T. T. Kang, A. Hashimoto, and A. Yamamoto, Applied Physics Letters **92**, 110902 (2008).
- [17] W. J. Wang, K. Sugita, Y. Nagai, Y. Houchin, A. Hashimoto, and A. Yamamoto, Powder Diffraction

**22**, 219-222 (2007).

- [18] K. Sugita, Y. Nagai, Y. Houchin, A. Hashimoto, and A. Yamamoto, Phys. Sta. Sol. (c) **4**, 2461-2464 (2007)
- [19] Y. Nagai, H. Niwa, A. Hashimoto, and A. Yamamoto, Phys. Status Sol. (c) **4**, 2457-2460 (2007)
- [20] W. J. Wang, Y. Nagai, Y. Houchin, A. Hashimoto, and A. Yamamoto, Phys. Status Sol. (c) **4**, 2415-2418 (2007).
- [21] K. Sugita, Y. Nagai, Y. Houchin, A. Hashimoto, and A. Yamamoto, Phys. Status Sol. (c) **4**, 2461-2464 (2007).
- [22] M. S. Cho, N. Sawazaki, A. Hashimoto, and A. Yamamoto, Phys. Status Sol. (c) **4**, 2441-2444 (2007).
- [23] K. Iwao, A. Yamamoto, and A. Hashimoto, Phys. Status Sol. (c) **4**, 2453-2456 (2007).
- [24] A. Hashimoto, K. Matsumoto, and A. Yamamoto, J. Cryst. Growth **301/302**, 1021-1024 (2007).
- [25] A. Hashimoto, K. Iwao, and A. Yamamoto, J. Cryst. Growth **301/302**, 500-503 (2007)

[学会発表] (計 42 件)

- [01] “Characterization of InN grown by Pt catalyst-assisted MOVPE”, K. Sasamoto, K. Sugita, A. Hashimoto, and A. Yamamoto, Abstract book of 8th Int'l Conference of Nitride Semiconductors (ICNS8), LL-4, ICC Jeju, Korea (2009).
- [02] “Step-graded Interlayers for the improvement of MOVPE In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N (x ~ 0.4) Epi-layer Quality”, Md. R. Islam, Y. Ohmura, A. Hashimoto, A. Yamamoto, K. Kinoshita and Y. Koji, Abstract book of 8th Int'l Conference of Nitride Semiconductors (ICNS8), Q3, ICC Jeju, Korea (2009).
- [03] “RF-MBE Growth on Vicinal Sapphire Substrate using Migration Enhanced Epitaxy”, M. Yamamoto, Ting-Ting Kang, M. Tanaka, A. Hashimoto, and A. Yamamoto, Abstract book of 8th Int'l Conference of Nitride Semiconductors (ICNS8), ThP-22, ICC Jeju, Korea (2009).
- [04] “RF-MBE Growth on Vicinal Sapphire Substrate using Migration Enhanced Epitaxy”, Y. Shimotsuji, A. Yamamoto, and A. Hashimoto, Abstract book of 8th Int'l Conference of Nitride Semiconductors (ICNS8), ThP-32, ICC Jeju, Korea (2009).
- [05] “A Breakthrough Toward Wafer-size bi-layer Graphene Transfer”, A. Hashimoto, H. Terasaki, K. Morita, S. Tanaka, and H. Hibino, Abstracts of MRS 2009 Fall Meeting, Symp. L 5.2, Boston, USA (2009).
- [06] “A breakthrough toward wafer-size bi-layer graphene transfer”, A. Hashimoto, H. Terasaki, K. Morita, H. Hibino and S. Tanaka, Technical Digest of International Conference on Silicon Carbide & Related Materials 2009, (ICSCRM2009), **Tu-P-86** (Late News), Nurnberg, Germany (2009).

- [07] "Double resonant Raman spectra of a large area epitaxial graphene transferred from vicinal Si-face SiC substrate", A. Hashimoto, H. Terasaki, and S. Tanaka, Delegate Manual of 20th European Conference on Diamond, Diamond-Like Materials, Carbon Nanotubes, and Nitrides (DIAMOND2009), O62, Athens, Greek (2009).
- [08] "RF-MBE InN Growth on Step-ordered Off-angle Sapphire Substrates", A. Hashimoto, H. Terasaki, and S. Tanaka, Technical Digests of Int. Workshop on Nitride Semiconductor 2008 (IWN2008), WS2a, Montreux, Switzerland (2008).
- [09] "Step-flow Growth in Solid C<sub>60</sub> Epitaxy on Graphene", A. Hashimoto, H. Terasaki, and S. Tanaka, Delegate Manual of 19th European Conference on Diamond, Diamond-Like Materials, Carbon Nanotubes, and Nitrides (DIAMOND2008), 12.5, Sitges, Spain (2008).
- [10] "RF-MBE Growth of In-rich InGaN for Tandem Solar Cell", A. Hashimoto, K. Iwao, H. Hohnoki, and A. Yamamoto, Abstract Book of 15th Int'l Conference on Molecular Beam Epitaxy (MBE2008), MP28, 44, Vancouver, Canada (2008).
- [11] "A Study of Mg-doping Behaviour of RF-MBE InN using Homo-junction Structure", A. Hashimoto, K. Iwao, H. Honoki and A. Yamamoto, Abstract Book of 15th Int'l Conference on Molecular Beam Epitaxy (MBE2008), MP25, 41, Vancouver, Canada (2008).
- [12] "Direct Measurements of Van der Waals Force in HOPG", H. Terasaki, A. Yamamoto, T. Honda, and A. Hashimoto, Program Book of 2<sup>nd</sup> Conference on New Diamond & Nano Carbons 2008 (NDNC2008), **P1-064**, 248, Taipei, Taiwan (2008)
- [13] "Electron Beam Irradiation Effect for Solid C<sub>60</sub> Epitaxy on Graphene", A. Hashimoto, H. Terasaki, A. Yamamoto, and S. Tanaka, Program Book of 2<sup>nd</sup> Conference on New Diamond & Nano Carbons 2008 (NDNC2008), Oral B4-002, 158, Taipei, Taiwan (2008)
- [14] "RF-MBE Growth of In-rich InGaN for Tandem Solar Cell", A. Hashimoto, K. Iwao, and A. Yamamoto, Extended Abstract of 17th Int'l Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-17), **5P-P4-10**, Fukuoka, Japan (2007).
- [15] "MOVPE Growth and Mg-doping of In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N (x~0.4) for Tandem Solar Cell", M. Horie, A. Hashimoto, and A. Yamamoto, Extended Abstract of 17th Int'l Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-17), **5P-P4-06**, Fukuoka, Japan (2007).
- [16] "MOVPE Growth of In-rich InAlN for InAlN Tandem Solar Cell", Y. Houchin, A. Hashimoto, and A. Yamamoto, Extended Abstract of 17th Int'l Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-17), **5P-P4-05**, Fukuoka, Japan (2007).
- [17] "Transfer of Large Area Graphene Sheets from Carbonized 6H-SiC by a Direct Bonding Technique", A. Hashimoto, K. Iwao, S. Tanaka, and A. Yamamoto, Abstracts of MRS 2007 Fall Meeting, Symp. II **18.5**, Boston, USA (2007).
- [18] "Marked Improvements in Electrical and Optical Properties for MOVPE InN Annealed at a Low Temperature (~300 C) in O<sub>2</sub> Atmosphere", Y. Nagai, K. Sugita, A. Hashimoto, and A. Yamamoto, Abstract book of 7th Int'l Conference of Nitride Semiconductors (ICNS7), TP-78, Las Vegas, USA (2007).
- [19] "New Nitridation Technique for Mosaicity Control in RF-MBE InN Growth", K. Iwao, A. Yamamoto, and A. Hashimoto, Abstract book of 7th Int'l Conference of Nitride Semiconductors (ICNS7), **TP-47**, Las Vegas, USA (2007).
- [20] "Mosaicity Control of In-rich InGaN in RF-MBE Growth by Template Technique", K. Iwao, Y. Yamada, A. Yamamoto, and A. Hashimoto, Abstract book of 7th Int'l Conference of Nitride Semiconductors (ICNS7), TP-46, Las Vegas, USA (2007).
- [21] "A Trade-off Relation between Tilt and Twist Angle Fluctuations in InN Grown by RF-MBE", A. Hashimoto, A. Yamamoto, and K. Iwao, Abstract book of 7th Int'l Conference of Nitride Semiconductors (ICNS7), **TP-41**, Las Vegas, USA (2007).
- [22] "Atmospheric-Pressure MOVPE Growth of In-Rich InAlN", Y. Houchin, A. Hashimoto, and A. Yamamoto, Abstract book of 7th Int'l Conference of Nitride Semiconductors (ICNS7), **EE6**, Las Vegas, USA (2007).
- [23] "The Importance of Reducing Strain for the Improvement of Crystalline Quality of MOVPE InN", K. Sugita, A. Hashimoto, and A. Yamamoto, Abstract book of 7th Int'l Conference of Nitride Semiconductors (ICNS7), **BB6**, Las Vegas, USA (2007)
- [24] "Etching and Optical Deterioration of Nitrogen-Face of Wurtzite InN in NH<sub>3</sub> Ambient", A. Yamamoto, K. Sugita, Y. Nagai, and A. Hashimoto, Abstract book of 7th Int'l Conference of Nitride Semiconductors (ICNS7), **BB5**, Las Vegas, USA (2007).
- [25] "A New Formation Method of Large Area Graphene on SiO<sub>2</sub>/Si Substrate", A. Hashimoto, K. Iwao, S. Tanaka, and A. Yamamoto, Abstract book of The 18<sup>th</sup> European Diamond and Related Materials, 14B-2, Berlin (2007)
- [26] "Van der Waals Epitaxy of Solid Fullerene on Graphene Sheet", A. Hashimoto, K. Iwao, S. Tanaka, and A. Yamamoto, Abstract book of The 18<sup>th</sup> European Diamond and Related Materials, **P2.16.02**, Berlin (2007).
- [27] "GaInNAs Epitaxy for High Efficient Tandem

Solar Cell by RF-MBE (Invited)", A. Hashimoto, Abstracts of MBE-Taiwan 2007, 43, Kaohsiung, Taiwan, (2007).

他 15 件

〔図書〕(計 1 件)

- (1) 橋本明弘 他、「高効率太陽電池の開発と応用」(第 4 章多接合太陽電池、第 2 節化合物半導体のエピタキシャル成長、pp49 ~ pp66)、シー・エム・シー出版 (2009)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 2 件)

名称：グラフェンシートの製造方法  
発明者：橋本明弘、田中悟  
権利者：福井大学  
種類：特願 2007-233535  
番号：2007-233535  
出願年月日：平成 19 年 9 月 10 日  
国内外の別：国内

名称：グラフェンシートの製造方法  
発明者：橋本明弘  
権利者：福井大学  
種類：特願  
番号：2007-261188  
出願年月日：平成 19 年 10 月 4 日  
国内外の別：国内

○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

[http://www.eng.u-fukui.ac.jp/outline/master.html#Electrical\\_and\\_Electronics](http://www.eng.u-fukui.ac.jp/outline/master.html#Electrical_and_Electronics)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

橋本明弘 (Akihiro Hashimoto)  
福井大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号：10251985

### (2) 研究分担者

山本嵩勇 (Akio Yamamoto )  
福井大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号：90210517

葛原正明 (Masaaki Kuzuhara)  
福井大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号：20377469

福井一俊 (Kazutoshi Fukui)  
福井大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号：80156752

塩島謙次 (Kenji Shiojima)  
福井大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号：70432151

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：