

平成 21 年 6 月 1 日現在

研究種目:基盤研究 C

研究期間:平成 18 年度 ~ 平成 20 年度

課題番号:18560019

研究課題名(和文) 低温機能触媒体を用いた新規触媒支援化学気相成長法

研究課題名(英文)

New catalytic reaction assisted chemical vapor deposition using a catalyst functioning at low temperatures

研究代表者 安井寛治

## 研究成果の概要:

本研究課題は、低温活性金属触媒体の触媒分解効果を用いて窒素系ガスを高効率に分解、従来技術である熱 CVD 法に比べ低温で窒化物電子材料薄膜を堆積すること、ならびに本技術を用いることで有機金属化学気相成長 (MOCVD) 法より小さな V/III 原料供給比での高品位窒化ガリウム (GaN) 結晶の成長技術を確立することを目標に実施された。また紫外・青色発光ダイオードおよびレーザーのコスト低減を図るため Si 基板上への省資源成長技術の構築を目指し、研究を行った。平成 18 年度から 20 年度の 3 年間の研究成果は、以下の通りである。

- (1) アンモニア (NH<sub>3</sub>) 分解の低温活性触媒であるルテニウム (Ru) 表面での反応を用いて高エネルギー窒素系プリカーサを形成、ガリウム源であるトリメチルガリウム (TMG) と反応させることで 600-800 という低温で GaN 膜をサファイア基板上にエピタキシャル成長させることに成功した。具体的な実験手法としては、アルミナ粒子に Ru ナノ粒子を担持し Ru 表面積を増大することにより活性の高い高密度 NH<sub>x</sub> ラジカルを生成、基板に供給することで、低温にて結晶性・光学特性の良好な GaN 結晶膜を得た。
- (2) 並行して Ru をスパッタ法で担持したメッシュ状加熱タングステン (W) を用いた触媒反応 CVD (ホットメッシュ CVD) 法において NH<sub>3</sub> および TMG を原料ガスに用いて Si 基板上への GaN ヘテロエピタキシャル成長実験を行った。このホットメッシュ CVD 法において Si 基板との格子定数差を緩和させると共に界面層の炭化層 (SiC 層)、窒化アルミニウム (AlN) 層等のバッファ層の挿入とその形成条件の最適化を行った結果、低い V/III 原料供給比で結晶性・光学特性の良好なエピタキシャル膜の成長が可能であることを見出した。また W メッシュを用いたホットメッシュ CVD 法における最適成長条件と比較することで、メッシュ加熱温度を 200 下げても同等の結晶性を有するエピタキシャル膜が得られることを見出した。

以上の結果より、金属触媒体である Ru 表面での NH<sub>3</sub> 分解反応を用いることで低温での高効率分解を実現することが可能となり、窒化物材料薄膜の省エネルギー成長技術の構築につながる成果を上げることが出来た。

## 交付額

(金額単位:円)

|        | 直接経費      | 間接経費    | 合計        |
|--------|-----------|---------|-----------|
| H18 年度 | 2,500,000 | 0       | 2,500,000 |
| H19 年度 | 700,000   | 210,000 | 910,000   |
| H20 年度 | 200,000   | 60,000  | 260,000   |
| 総計     | 3,400,000 | 270,000 | 3,670,000 |

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎 ・ 薄膜・表面界面物性

キーワード：(A)薄膜、(B)表面

### 1. 研究開始当初の背景

研究代表者である安井は、これまでメッシュ状加熱金属触媒体表面での水素及びNH<sub>3</sub>の分解により高密度水素ラジカルや窒素系ラジカルの形成を実現し、この高密度ラジカルと金属原料との反応を用いることで炭化ケイ素(SiC)やGaN結晶薄膜の省エネルギー・省資源成長を試みてきた。金属触媒体の表面反応を用いることでプラズマを用いたガス分解反応よりも1桁以上高密度のラジカルの生成に成功し、そのラジカルの反応性を利用することで従来法より低温でのSiCのヘテロエピ成長、窒素系原料ガス供給比(NH<sub>3</sub>/TMG)の小さな条件下でのGaN結晶膜の成長に成功した。

並行して高表面積シリカ微粒子(400m<sup>2</sup>/g)にRuを微粒子で担持した粉末固体触媒を用い、300 という低温でのNH<sub>3</sub>ガスの分解に成功しており、これらの研究から高い比表面積を有した固体触媒を用い、反応ガスを分解することにより、これまでにない特性の結晶成長・薄膜形成が得られるのではないかと知見を得た。

一方、研究分担者である西山は、これまでに、弾性表面波(SAW)伝搬路上に接合した金属薄膜触媒表面上での触媒反応を、高感度反射赤外分光法(IRAS)を用いた吸着化学種の吸着状態変化解析および光電子放出顕微鏡(PEEM)を用いた触媒薄膜表面の仕事関数変化測定からの触媒反応機構解析を行い、金属薄膜触媒表面の原子レベルでの表面構造の違いが触媒反応に大きく影響を与えることを見出し、この格子変位効果を用いて触媒反応を人工制御する手法を見出した。さらに、実用触媒においては、様々な金属酸化物表面上にPt, Pd, Ru, RuO<sub>2</sub>などを担持

する方法を検討し、様々な触媒表面反応の素過程についての研究を続けてきた。主には、光触媒、不飽和アルデヒド水素化触媒およびNH<sub>3</sub>分解触媒の触媒活性について研究を行って来た。また、前述したように高表面積シリカ微粒子(400m<sup>2</sup>/g)にRuを担持し低温で活性を持つCVD用触媒の試作も行っており、本研究を共同して提案することとなった。

### 2. 研究の目的

(1) 金属酸化物系誘電体微粒子に担持したRu微粒子上でのヒドラジンの自己発熱触媒分解効果を用い、高い並進・振動エネルギーを持ったプリカ-サ-の高密度生成の実現、そしてそのプリカ-サ-と有機ガリウム原料ガスとの反応によりGaNEピタキシャル膜を低温で成長する技術の構築。

(2)メッシュ状加熱W触媒体を用いたGaN省資源成長技術を更に向上させるためのRuナノ薄膜をコートしたメッシュを用いた触媒反応CVD法によるGaNEピタキシャル成長技術の構築。

### 3. 研究の方法

(1)Ruナノ粒子表面でのヒドラジンの自己発熱触媒反応を用いた窒化ガリウムの低温成長

塩化ルテニウム溶液中に金属酸化物(アルミナ)誘電体粒子を浸漬乾燥後、乾燥器内で焼成、担持された酸化Ru粒子を水素雰囲気中で加熱還元した。そしてこのRuナノ微粒子を担持した誘電体粒子をセラミクスジャケット内に充填、チャンバー内に設置してヒドラジン供給ラインに接続した。ヒドラジン供給ラインからバルブを通して触媒充填ジャケットにヒドラジンを供給、Ruナノ粒子表面

で高効率に反応させ、その反応に伴う自己発熱により高エネルギー窒素ラジカルを生成、ジャケット先端から噴出させた。そして噴出ビーム内へ時間遅れ制御され供給された有機ガリウム原料である TMG ガスとの衝突により気相中で高活性な GaN 成長のためのプリカーサを生成、ジャケットから約 20mm の距離にセットしたサファイア基板の上に GaN 膜を成長させた。またその反応条件の最適化を行うためにファンクションシンセサイザとデジタルオシロによりバルブ駆動用パルス発生とその動作のモニターを行った。

成長した結晶膜については、X 線回折法およびフォトルミネッセンス法により結晶性および光学特性を評価した。

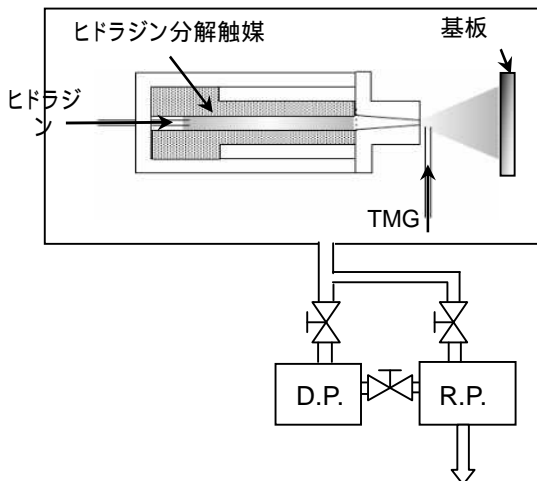


図 3.1 Ru ナノ粒子触媒反応を用いた CVD 装置

(2) Ru 担持タングステンホットメッシュを用いた省資源 GaN 成長

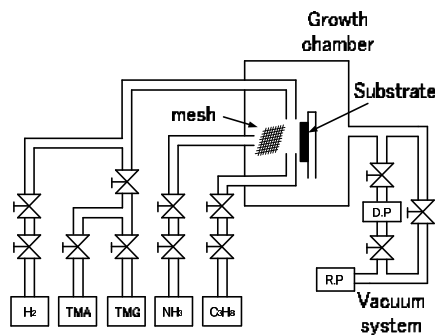


図 3.2 GaN 成長のためのホットメッシュ CVD 装置

本研究テーマを計画するベースとなった加熱 W メッシュを用いた GaN 成長装置の模式図を図 3.2 に示す。この装置を元に低温活性触媒体である Ru をマグネトロンスパッタ法により W メッシュに 10nm コートしその Ru 表面での触媒反応を用いて NH<sub>3</sub> を高効率に分解、基板表面に供給された TMG との反応により低い V/III 原料ガス供給比にて GaN の成長を行った。装置構造を詳しく述べると NH<sub>3</sub> ガスはメッシュ (線径 0.1mm、30mesh/inch) の上流部から供給し、メッシュ表面で分解、窒素ラジカルが生成され基板へと供給し、基板直上に供給された原料ガスと反応する構造となっている。基板には Si(111) ウェハを用い、基板を有機洗浄した後、フッ酸を用いて酸化膜を除去し水素終端を行った。基板をチャンバー内へ搬入した後、触媒を加熱しながら、水素を  $3.3 \times 10^{-1}$  Pa の圧力で供給し、10min 間のクリーニング。続いてプロパン (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>) と水素を  $3.0 \times 10^{-1}$  Pa の圧力条件で供給し Si 基板表面を炭化した後、トリメチルアルミ (TMA) と NH<sub>3</sub> を原料にガス供給比 NH<sub>3</sub>/TMA=80 にて AlN バッファ層を成長させた。その後、TMG と NH<sub>3</sub> を原料にガス供給比 NH<sub>3</sub>/TMG = 80 にて GaN 膜の成長を行った。GaN 膜は、基板温度 600 にて低温層を形成後、800 +1000 で本成長を行う三段階成長を行なった。成長した結晶膜については、X 線回折法およびフォトルミネッセンス法により結晶性および光学特性を評価した。

4. 研究成果

(1)ルテニウムナノ粒子表面でのヒドラジンの自己発熱触媒反応を用いた窒化ガリウムの低温成長

アルミナに担持したヒドラジン分解触媒である Ru の表面反応により高エネルギーの NH<sub>x</sub> プリカーサを形成、TMG と反応させることでヒドラジンを分解、基板温度 500 での GaN 結晶膜の成長に成功した。またプラズマ CVD 法に比べ膜中の結合水素量が、少ないこ

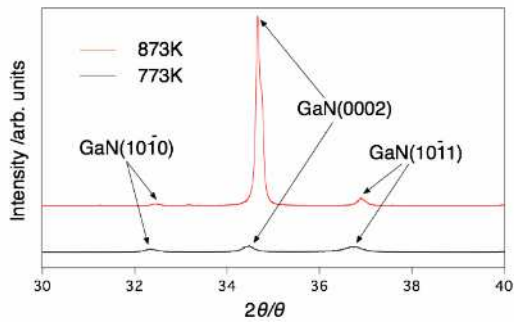


図 4.1 Ru ナノ粒子触媒反応によりヒドラジンを用いて低温成長した GaN 膜の X 線回折パターン

とが分かり、生成された  $\text{NH}_x$  ラジカルの励起状態が高く低温基板表面からでも効率よく水素の脱離が生じていることが分かった。

結晶性に関しては、従来技術である MOCVD 法に比べはるかに低温の 600 で Si(111)基板上に c 軸配向性を有する GaN エピタキシャル膜の成長に成功した。更にこの結晶膜は強いバンド端発光を示し、光学的にも高品質な結晶膜であることが分かった。ただ、非エピタキシャル成分である GaN(10-10), (10-11)配向のドメインも含まれており、MOCVD 法による結晶膜と同等とは言えないが、Si 基板上のバッファ層の最適化等により、デバイスレベルの高品位結晶膜の成長が可能であると考えられる。

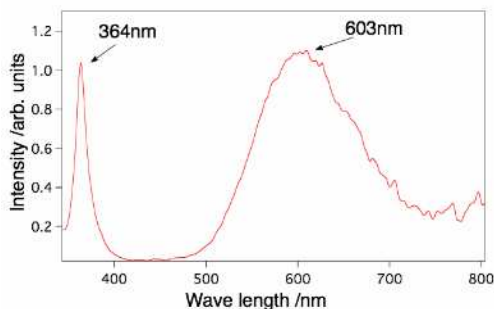


図 4.2 Ru ナノ粒子触媒反応によりヒドラジンを用いて低温成長した GaN 膜の室温フォトルミネッセンス

(2) Ru 担持 W ホットメッシュを用いた省資源 GaN 成長

Wメッシュ表面にスパッタコートすることでRuを担持したWメッシュを用いてSi基板上へのGaN成長を試みた。Si基板とGaNの大きな

格子ミスマッチ、Si表面の窒化で非晶質層が形成されるという問題は、本研究課題開始前にWメッシュを用いた実験によって最適化された成長プロセスを用いることで解決した。即ち、研究方法で述べたようにSi基板の炭化層の形成、AlNバッファ層の形成、そして600, 800 の低温層を含めた多段階成長とその成長条件の最適化によってSi基板上への高品質な結晶膜の成長に成功した。ただWメッシュを用いた成長ではメッシュ温度1200以上の高温が必要なため省エネルギー成長条件を見出すためRuを短持したWメッシュを用いた。

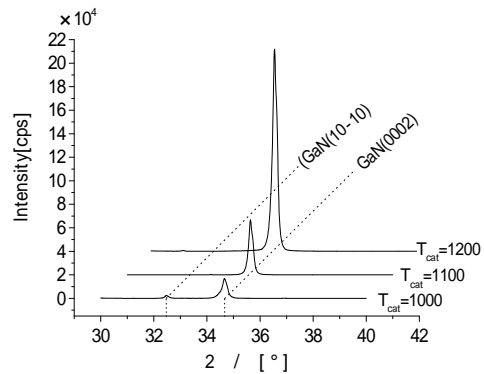


図4.3 Wメッシュを触媒体を用いて成長させたGaN膜のX線回折パターン

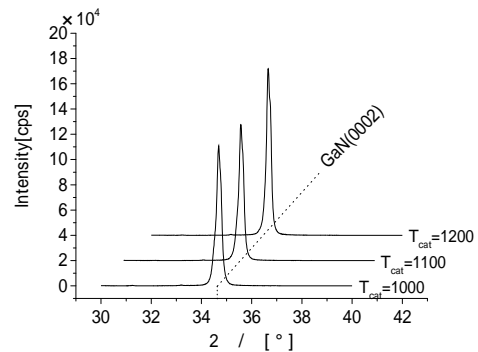


図4.4 Ru コートWメッシュを触媒体を用いて成長させたGaN膜のX線回折パターン

図4.3および図4.4にWメッシュとRuコートWメッシュを用いて成長を行ったGaN膜のXRDパターンを示す。Ruを担持していないW

メッシュにおいて、メッシュ温度1200 では良好な結晶性を示すものの1100、1000 と低温になるに従い結晶性が大きく悪化する。一方、RuコートWメッシュを用いることで、メッシュ温度が1000 まで低下しても結晶性の悪化は殆んど見られなかった。このことからWに比べRuの低温でのNH<sub>3</sub>の分解特性が異なることや結晶成長につながる活性の高いラジカルの形成が生じていることが推察された。

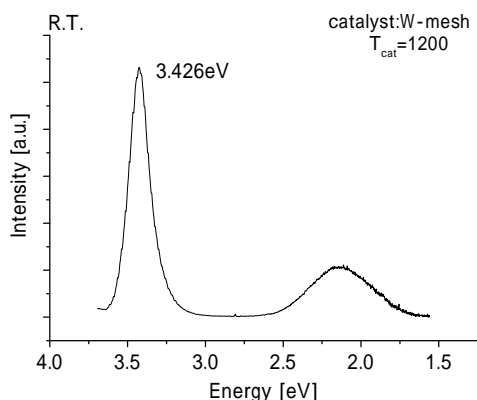


図4.5 Wメッシュで成長させたGa<sub>N</sub>膜の室温PLスペクトル

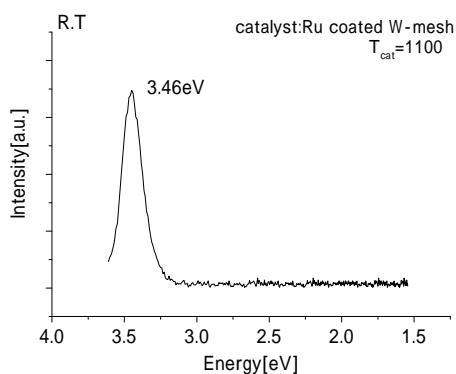


図4.6 Ru コートWメッシュで成長させたGa<sub>N</sub>膜の室温PLスペクトル

図 4.5 および図 4.6 に W メッシュを用いて 1200 で成長させた最も発光特性の良好な Ga<sub>N</sub> 膜の室温 PL スペクトルと Ru コート W メッシュを用い 1100 で成長させた Ga<sub>N</sub> 膜の室温 PL スペクトルをそれぞれ示す。図 4.5 に示すように W メッシュを用いて作製した

GaN 膜では最適な成長条件においても必ずバンド端発光に付随して 2.2eV 付近にイエローミネセンスが観測された。一方、Ru を担持した W メッシュを用いて成長させた場合、1100 の低温でも欠陥に起因するイエローミネセンスは観測されず、バンド端発光のみ観測された。これはイエローミネセンスの原因とされる窒素空孔や炭素不純物の密度が大きく減少していることを示していると考えられる。以上のことより、Ru コート W メッシュを用いることで、NH<sub>3</sub> の分解特性が変わり、高密度の活性な窒素ラジカルが供給されることで、Ga<sub>N</sub> 膜中の欠陥の生成が抑制されると共に結晶性の向上がもたらされたと考えられる。

## 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 4 件 )

- (1) Kazuyuki Tamura, Yuichiro Kuroki, Kanji Yasui, Maki Suemitsu, Takashi Ito, Tetsuro Endoh, Hideki Nakazawa, Yuzuru Narita, Masasuke Takata, Tadashi Akahane, “Growth of GaN on SiC/Si substrates using AlN buffer layer by hot-mesh CVD”, Thin Solid Films, 516 (2008) 659-662.
- (2) Yusuke Fukada, Kanji Yasui, Hiroshi Nishiyama, Yuichiro Kuroki, Maki Suemitsu, Takashi Ito, Tetsuo Endoh, Hideki Nakazawa, Yuzuru Narita, Masasuke Takata, and Tadashi Akahane, “Growth of GaN Films by Hot-Mesh Chemical Vapor Deposition Using Ruthenium-Coated Tungsten Mesh”, Jpn.J.Appl.Phys 47 (2008) pp.573-576
- (3) Y. Komae, T. Saitou, M. Suemitsu, T. Ito, T. Endoh, H. Nakazawa, Y. Narita, M. Takata, T. Akahane, Kanji Yasui, “The growth of GaN films by alternate source gas supply hot-mesh CVD method”, Thin Solid Films 517 (2009) 3528-3531.
- (4) Y. Komae, Kanji Yasui, M. Suemitsu, T. Endoh, T. Ito, H. Nakazawa, Y. Narita, M.

Takata, T. Akahane, "Epitaxial growth of GaN films by pulse-mode hot-mesh CVD"、  
Japanese Journal of Applied Physics (in press)

[学会発表](計 26件)

- (1) Kazuyuki Tamura, Yuichiro Kuroki, Kanji Yasui, Maki Suemitsu, Takashi Ito, Tetsuro Endou, Hideki Nakazawa, Yuzuru Narita, Masasuke Takata, Tadashi Akahane, "Growth of GaN on SiC/Si substrates using AlN buffer layer by hot-mesh CVD" 4<sup>th</sup> International Conference on Hot-Wire CVD (Cat-CVD) Process, (2006) pp.305-307.
- (2) Yusuke Fukada, Kazuyuki Tamura, Yuichiro Kuroki, Kanji Yasui, Maki Suemitsu, Takashi Ito, Tetsuro Endou, Hideki Nakazawa, Yuzuru Narita, Masasuke Takata, Tadashi Akahane, "Growth of GaN on SiC/Si substrates by hot-mesh CVD" 4th International Conference on Hot-Wire CVD (Cat-CVD) Process (2006) pp.161-163.
- (3) 田村和之、高橋和希、黒木雄一郎、末光眞希、高田雅介、安井寛治、赤羽正志、"Hot-mesh CVD 法による AlN バッファ層を用いた SiC/Si(111)上への GaN 成長" 平成 18 年春季応用物理学会学術講演会講演予稿集、(2006) p.965.
- (4) 田村和之、高橋和希、黒木雄一郎、末光眞希、高田雅介、安井寛治、赤羽正志、"Hot-mesh CVD 法を用いた SiC/Si(111)上への GaN 成長" 平成 18 年電子情報通信学会総合大会講演論文集、(2006) C-6-7, p.19.
- (5) 深田祐介、田村和之、黒木雄一郎、安井寛治、高田雅介、"ホットメッシュ CVD 法による SiC/Si 基板上への低温バッファ層を用いた GaN 成長" 第 3 回 Cat-CVD 研究会講演予稿集、(2006) pp.199-201.
- (6) 田村和之、深田祐介、黒木雄一郎、安井寛治、高田雅介、赤羽正志、"ホットメッシュ CVD 法による SiC/Si 基板上への AlN バッファ層を用いた GaN 成長" 第 3 回 Cat-CVD 研究会講演予稿集(2006) pp.202-203
- (7) 田村和之、深田祐介、黒木雄一郎、高田雅介、安井寛治、赤羽正志、"Hot-mesh CVD 法による AlN バッファ層を用いた SiC/Si(111)上への GaN 成長" 電子情報通信学会技術研究報告、Vol.106, No.203 (2006) pp.37-41
- (8) 田村和之、深田祐介、黒木雄一郎、末光眞希、高田雅介、安井寛治、赤羽正志、"Hot-mesh CVD 法を用いて AlN バッファ層を挿入した SiC/Si(111)上への GaN 成長" 平成 18 年秋季応用物理学会学術講演会講演予稿集、(2006) 30a-X-3
- (9) 田村和之、深田祐介、黒木雄一郎、安井寛治、高田雅介、赤羽正志、"Hot-mesh CVD 法による SiC/Si 上への AlN バッファ層を用いた GaN 成長" 電子情報通信学会 2006 年ソサイエティ大会、(2006) C-6-7, p.14.
- (10) 深田祐介、田村和之、黒木雄一郎、安井寛治、高田雅介、赤羽正志、"Hot-mesh CVD 法による SiC/Si 基板上への AlN バッファ層を用いた GaN 成長" 平成 18 年度電子情報通信学会信越支部大会講演論文集 (2006) p.197.
- (11) 深田祐介、田村和之、黒木雄一郎、末光眞希、伊藤隆、成田克、遠藤哲郎、中澤日出樹、高田雅介、安井寛治、赤羽正志、"Hot-mesh CVD 法による SiC/Si 基板上への AlN バッファ層を用いた GaN 膜成長"、SiC 及び関連ワイドギャップ半導体研究会第 15 回講演会予稿集 (2006) p.117.
- (12) 深田祐介、田村和之、黒木雄一郎、末光眞希、伊藤隆、成田克、遠藤哲郎、中澤日出樹、高田雅介、安井寛治、赤羽正志、"Hot-mesh CVD 法による SiC/Si 基板上へ AlN バッファ層を用いた GaN 成長" 平成 18 年度応用物理学会北陸・信越支部学術講演会講演予稿集 (2006) p.24
- (13) 深田祐介、田村和之、黒木雄一郎、末光眞希、伊藤隆、成田克、遠藤哲郎、中澤日出樹、高田雅介、安井寛治、赤羽正志、"Hot-mesh CVD 法を用いた SiC/Si(111)基板上への GaN 成長~ AlN バッファ層の効果~"、2007 年(平成 19 年)春季第 54 回応用物理学関係連合講演会講演予稿集

- (2007) p.964.
- (14) 安井寛治, 西山 洋, 田村和之, 深田祐介, 黒木雄一郎, 末光眞希, 伊藤隆, 成田克, 遠藤哲郎, 中澤日出樹, 高田雅介, 赤羽正志, “Cat-CVD 法による窒化物半導体の成長”, 2007年(平成19年)春季第54回応用物理学関係連合講演会講演予稿集 (2007) p.960.
- (15) Yusuke Fukada, Yuichiro Kuroki, Kanji Yasui, Maki Suemitsu, Takashi Ito, Tetsuro Endou, Hideki Nakazawa, Yuzuru Narita, Masasuke Takata, Tadashi Akahane, “Decomposition characteristics of NH<sub>3</sub> by rhenium coated tungsten hot-mesh for the growth of nitride semiconductor films”, Abstract of 2007 International Symposium on Organic and Inorganic Electronic Materials and Related Nanotechnologies (EM-NANO 2007) (2007) p.176.
- (15) 深田祐介, 小前泰彰, 西山 洋, 黒木雄一郎, 末光眞希, 伊藤隆, 成田克, 遠藤哲郎, 中澤日出樹, 高田雅介, 安井寛治, 赤羽正志, “ルテニウム担持したタンゲステン Hot-mesh CVD 法による GaN 成長” 第4回 Cat-CVD 研究会講演予稿集 (2007) pp.53-56.
- (16) 深田祐介, 小前泰彰, 西山 洋, 黒木雄一郎, 末光眞希, 伊藤隆, 成田克, 遠藤哲郎, 中澤日出樹, 高田雅介, 安井寛治, 赤羽正志, “Ru コート W を用いた Hot-mesh CVD 法による GaN 膜成長”, 2007年電子情報通信学会ソサイエティ大会、(2007) C-6-9, p.17.
- (17) 小前泰彰, 深田祐介, 西山 洋, 黒木雄一郎, 末光眞希, 伊藤隆, 成田克, 遠藤哲郎, 中澤日出樹, 高田雅介, 安井寛治, 赤羽正志, “Ru coated W Hot-mesh CVD 法による GaN 成長”, 平成19年度電子情報通信学会信越支部大会講演論文集、(2007) p.156
- (18) 深田祐介, 安部和貴, 西山 洋, 黒木雄一郎, 末光眞希, 伊藤隆, 成田克, 遠藤哲郎, 中澤日出樹, 高田雅介, 安井寛治, 赤羽正志, “ホットメッシュ CVD 法による GaN 成長-ルテニウムコーティッドタンゲステンメッシュの効果-” 電子情報通信学会技術研究報告、Vol.107, No.325 (2007) pp.55-58 .
- (19) 小前泰彰, 深田祐介, 西山 洋, 黒木雄一郎, 末光眞希, 伊藤隆, 成田克, 遠藤哲郎, 中澤日出樹, 高田雅介, 安井寛治, 赤羽正志, “RuコートW を用いたhot-mesh CVD法によるGaN成長”, 応用物理学会・北陸・信越支部学術講演会、(2007) p.38.
- (20) 小前泰彰, 深田祐介, 黒木雄一郎, 末光眞希, 伊藤隆, 成田克, 遠藤哲郎, 中澤日出樹, 高田雅介, 赤羽正志, 安井寛治, “パルス供給Hot-mesh CVD法によるGaN成長”2008年度電子情報通信学会総合大会 (2008) C-6-7, p.25 .
- (21)小前泰彰, 深田祐介, 黒木雄一郎, 末光眞希, 伊藤隆, 成田克,遠藤哲郎, 中澤日出樹, 高田雅介, 安井寛治, 赤羽正志, “Hot-mesh CVD法を用いた原料ガスパルス供給によるGaN成長”第5回Cat-CVD研究会 (2008) pp.41-43
- (22) Yasuaki Komae, Takeshi Saitou, Maki Suemitsu, Takashi Ito, Tetsuo Endoh, Hideki Nakazawa, Yuzuru Narita, Kanji Yasui, Masasuke Takata, Tadashi Akahane, “The growth of GaN films by alternate source gas supply hot-mesh CVD Method”, Abstract of the 5th International Conference on Hot-wire CVD Process, (2008) Boston, p.78.
- (23) 小前泰彰, 齋藤 健, 末光眞希, 伊藤隆, 成田克, 遠藤哲郎, 中澤日出樹, 高田雅介, 安井寛治, 赤羽正志, “間欠ガス供給によるAlNパッファ-層とGaN膜のエピタキシャル成長とその特性”, 平成20年度電子情報通信学会信越支部大会講演論文集、(2008) p.179.
- (24) 小前泰彰, 齋藤 健, 末光眞希, 遠藤哲郎, 伊藤隆, 中澤日出樹, 成田克, 高田雅介, 赤羽正志, 安井寛治, “パルスモードホットメッシュCVD法による窒化物半導体のエピタキシャル成長”, 電子情報通信学会電子部品・材料研究会, Vol.108, No-269 (2008) pp.7-12.

(25) 齋藤健, 小前泰彰, 末光眞希, 伊藤 隆, 成田克, 遠藤哲郎, 中澤日出樹, 高田雅介, 安井寛治, 赤羽正志, “パルスモードホットメッシュCVD法によるAlNバッファ層とGaN膜のエピタキシャル成長”, 応用物理学会・北陸・信越支部学術講演会 (2008) p.71.

(26) 齋藤健, 小前泰彰, 西山 洋, 末光眞希, 伊藤隆, 成田克, 遠藤哲郎, 中澤日出樹, 高田雅介, 赤羽正志, 安井寛治, “ホットメッシュCVD法を用いたGaNの成長におけるパルスガス供給の効果”, 2009年(平成21年)春季第56回応用物理学関係連合講演会講演予稿集 31-p-J-14 (2009) p.355.

〔図書〕(計 1 件)

(1) 触媒 CVD (Cat-CVD) の新展開 (ラジカルを用いる新プロセス技術) 中山弘監修 4.8 節 執筆分担、シーエムシー出版、2008年7月、pp.256-265.

〔産業財産権〕

出願状況 (計 1 件)

安井寛治, 田村和之, 西山 洋, 井上泰宣, 特願 2007-189475, 特開 2009-49392 「金属窒化物薄膜の製造方法」

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

安井寛治：長岡技術科学大学工学部准教授

(2) 研究分担者

西山 洋：長岡技術科学大学工学部助教

(3) 連携研究者

なし