

平成 21 年 5 月 1 日現在

研究種目：特定領域研究

研究期間：2006 ～ 2010

課題番号：18069005

研究課題名（和文） InAlN 系多接合タンデム太陽電池の研究

研究課題名（英文） A study on InAlN multi-junction tandem solar cells

研究代表者

山本 あき勇 (YAMAMOTO AKIO)

福井大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：90210517

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：高効率太陽光発電材料・素子, MOVPE, 結晶成長, 半導体物性

## 1. 研究計画の概要

InAlN は Al 組成のみを変化させることにより禁止帯幅を 0.7eV から 6.2eV まで大幅に変化させることができることからタンデム太陽電池用材料として最適の材料である。Al 組成の異なる InAlN サブセルを 10 層程度積層することにより 50% を超える高効率が実現できる可能性がある。本研究は、InAlN 系多接合太陽電池の中心材料である In-rich InAlN について、高品質薄膜結晶の作製、pn 接合形成、少数キャリア寿命評価に関する基本技術を確認することにより、超高効率タンデム太陽電池実現の可能性を明らかにする。

## 2. 研究の進捗状況

(1) In-rich InAlN 薄膜の MOVPE 成長：常圧 MOVPE 成長において、成長温度およびサセプター上の基板位置を適当に選ぶことにより、相分離、金属 In 析出のない単結晶膜 (In 組成 1 ~ 0.55) を得る技術を確認した。また、バッファ層として AlN を用いることにより、InAlN 膜の高品質化が図れることを見出した。さらに、成長圧力の効果を明らかにし、圧力の低下とともに TMA と NH<sub>3</sub> の寄生反応が抑制できるために、成長膜中の Al 組成が増加するとともに、そのガス流方向の分布も平坦になることを見出した。

(2) In-rich InAlN 薄膜の評価：作製した InAlN 膜の光学的均一性を SNOM により評価した。SNOM における発光強度分布、発光波長分布の解析に相関関数を導入することにより、

不均一性を定量的に解析できることを明らかにした。相関関数を用いた解析の結果、Al 組成が 8% 程度以下の試料では PL ピーク波長分布はランダムであるが、それ以上の Al 組成の膜では Al 原子の凝集が起こり始めていることがわかった。Al 組成 0.03 ~ 0.8 の InAlN について Raman スペクトルの組成依存性を調べた結果、InAlN 中では A<sub>1</sub>(LO) フォノンが 2 モード挙動を示し、従来の解釈が誤りであることを明らかにした。

(3) InAlN 膜への Mg ドーピングに関する検討：Cp<sub>2</sub>Mg を原料として、Al 組成 10% の InAlN 膜への Mg ドーピングを検討した。その結果、キャリア濃度は Mg ドーピングを行ってもほとんど変化せず、Mg ドープ InN の場合と類似の結果となった。なお、少量の Mg の添加が InAlN の結晶性を向上させる効果を有することを見出した。

## 3. 現在までの達成度

② おおむね順調に進展している。

(理由)：InAlN 薄膜成長に関しては、基本的事項が明確にでき、外部機関の研究レベルに対しても十分優位性を主張できる成果が得られていることから、90% の達成度である。しかしながら、難しいことは十分予想されてはいたが、Mg ドーピングに関する検討において期待したような結果が得られていない。また、InAlN 中での少数キャリア寿命の評価に関する検討がかなり遅れている。全体的な達成度は 70% と評価される。



#### 4. 今後の研究の推進方策

InAlN 膜成長に関しては基本技術がほぼ確立できたので、今後は Mg ドーピングの検討ならびに InAlN 中での少数キャリア寿命の評価を重点的に検討する。特に、Mg ドーピングの検討では、InN では Mg ドーピングによる明確なキャリア補償効果が見られていないことを考慮して、Al 組成 0.3~0.6 付近の InAlN 膜に関する検討から始める。

#### 5. 代表的な研究成果

(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 16 件)

① T. T. Kang, A. Hashimoto, A. Yamamoto, "Raman scattering of In-rich  $Al_xIn_{1-x}N$ : Unexpected two-mode behavior of  $A_1(LO)$ ", Physical review B, 79, 033301 (2009) 査読有

② Y. Houchin, A. Hashimoto, A. Yamamoto, "Atmospheric-pressure MOVPE growth of In-rich InAlN", physica status solidi (c), 5, 1571-1574 (2008) 査読有

③ K. Fukui, S. Naoe, K. Okada, S. Hamada, H. Hirayama, "Band-to-band and inner shell excitation VIS-UV photoluminescence of quaternary InAlGaIn alloys", physica status solidi (c), 3, 1879-1883 (2006) 査読有

[学会発表] (計 18 件)

① A. Yamamoto, K. Sugita, A. Hashimoto, "Elucidation of obstructing factors in improving MOVPE-grown InN quality", International Workshop on Nitride Semiconductors 2008", Oct. 6-10, 2008, Montreux, Switzerland

② T. T. Kang, Y. Houchin, A. Hashimoto, A. Yamamoto, "A study on near-field photoluminescence inhomogeneity in In-rich InAlN", Oct. 6-10, 2008, Montreux, Switzerland

③ Y. Houchin, A. Hashimoto, A. Yamamoto, "MOVPE GROWTH OF In-RICH InAlN FOR InAlN TANDEM SOLAR CELL", 17th International Photovoltaic Science and Engineering Conference, Dec. 5, 2007, Dec. 5, 2007

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: In 系 III 族元素窒化物の製造方法およびその装置

発明者: 山本あき勇, 橋本明弘

権利者: 福井大学

種類: 特許

番号: 特願 2009-077643

出願年月日: 2009.3.26

国内外の別: 国内

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ

<http://fuee.fukui-u.ac.jp/~yamamoto/index.html>