

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年5月31日現在

機関番号：33910

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22560309

研究課題名（和文）AlGaIn/GaNヘテロ接合界面のバンド構造解析と高品質化

研究課題名（英文）Band-gap states and quality analyses of AlGaIn/GaN hetero-structures

研究代表者

中野 由崇（NAKANO YOSHITAKA）

中部大学・総合工学研究所・准教授

研究者番号：60394722

研究成果の概要（和文）：AlGaIn/GaNヘテロ構造のGaNバッファ層のMOCVD結晶成長温度が低い程（1120～1170℃）、炭素取り込み量が多くなり、伝導帯下2.07, 2.80, 3.23eVに欠陥準位が顕在化する傾向を示す。これらの欠陥準位はGa空孔、Ga空孔-炭素、炭素に帰属するものと思われる。また、2.80eVと3.23eVの欠陥準位は2次元電子ガスのキャリアトラップとして働くことがわかった。

研究成果の概要（英文）：In conventional AlGaIn/GaN hetero-structures grown by MOCVD, the C impurity incorporation was enhanced with decreasing the growth temperature of the GaN buffer layer between 1120 and 1170℃. Concurrently, deep-level defects became dense at 2.07, 2.80, and 3.23eV below the conduction band, presumably attributable to Ga vacancies and shallow C acceptors in the GaN buffer layer. Among them, the 2.80 and 3.23eV levels are found to be strongly responsible for the carrier-trapping phenomena in the AlGaIn/GaN hetero-structures.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2012年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

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、窒化物半導体、半導体物性、結晶工学

1. 研究開始当初の背景

(1) 無線通信システムのキーデバイスである高周波パワーデバイスの高性能化が要求されている。従来のSi系やGaAs系デバイスの限界を打破するため、バンドギャップが大きい窒化物半導体をベースとしたAlGaIn/GaN HEMT（高移動度トランジスタ）の実用化が急務となっている。AlGaIn/GaNヘテロ界面では、強力な内部電界により 10^{13}cm^{-2} オーダーの極

めて高濃度の2次元電子ガスを利用できるため消費電力の超低損失化が可能となる。このような背景のもと、米国・日本において活発に研究・開発が行われている。

(2) しかし、結晶材料中に存在する欠陥準位の存在により、実デバイスの高出力動作時にスイッチング特性が不安定となる電流コラプスの問題が顕在化しており、実用化への

障害となっている。

(3) これまで、AlGa_N 層の表面準位を表面処理や保護膜形成で不活性化することやゲート電極をフィールドプレート構造化し電界集中を緩和することで、電流コラプス現象を7~8割程度まで低減できているが、依然として電流コラプスを完全に抑制・排除するには至っていない。したがって、AlGa_N/Ga_N HEMTの実用化には、残された電流コラプスの原因解明とその対策が急務となっている。

2. 研究の目的

(1) 単色分光励起による光容量の過渡応答特性から欠陥準位を計測する容量 DL_{OS} 計測技術を高度化し、AlGa_N/Ga_N ヘテロ構造の欠陥準位評価に適用する。

(2) AlGa_N/Ga_N ヘテロ構造における炭素関連の欠陥準位の形成挙動に焦点を絞りながら、多様な結晶性を有するヘテロ構造のバンド構造解析を行い、ヘテロ界面近傍のバンドギャップ電子状態を系統的に調査する。

(3) 半導体欠陥物性の視点から、欠陥準位と電流コラプス現象との相関を検証すると同時に、電流コラプスの低減を目的にAlGa_N/Ga_N ヘテロ構造の高品質化のための結晶成長への材料設計指針を抽出する。

3. 研究の方法

(1) 窒化物半導体のワイドバンドギャップに対応するため、長波長領域から短波長領域までの単色分光照射が可能なミックス光源を導入し、容量 DL_{OS} 計測技術の高精密化を図る。

(2) 容量 DL_{OS} 計測によるバンド構造解析を主要ツールとして、AlGa_N/Ga_N ヘテロ構造での炭素関連の欠陥準位の形成挙動に焦点を絞りながら、多様な結晶性を有するAlGa_N/Ga_N ヘテロ構造のバンドギャップ電子状態を明らかにする。

(3) 欠陥準位のエネルギー深さを考慮したターンオン電流回復特性の光照射波長依存性から、欠陥準位とデバイス・スイッチング特性の相関を検討する。

4. 研究成果

(1) 励起用光源として、ハロゲンと重水素のミックス光源を用いることで単色分光波長範囲を1600~300nmに広げ、更に単色分光ビームを集光化することで、AlGa_N/Ga_N ヘテ

ロ構造に存在する深い欠陥準位を高精度・高感度に検出できる容量 DL_{OS} 計測装置を作製した(図1)。

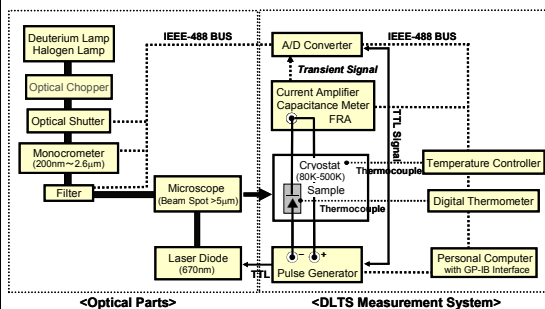


図1. 高精度化した容量 DL_{OS} 計測システムの構成

(2) 電流コラプス量が大きく異なるAlGa_N/Ga_N ヘテロ構造を結晶成長後、プレーナ型ショットキーデバイスを作製し、フォトルミネッセンス(PL)測定、容量-電圧測定、容量 DL_{OS} 測定から、電流コラプス量が大きい程、伝導帯下2.07, 2.80, 3.23 eVに位置する3つの欠陥準位が顕在化することが分かった(図2)。また、これらの欠陥準位濃度はPLのイエローバンド強度と同様の傾向を示すことから、不純物炭素の取り込みに起因するGa空孔, Ga空孔-炭素, 炭素に帰属する欠陥準位であると思われる(図3)。

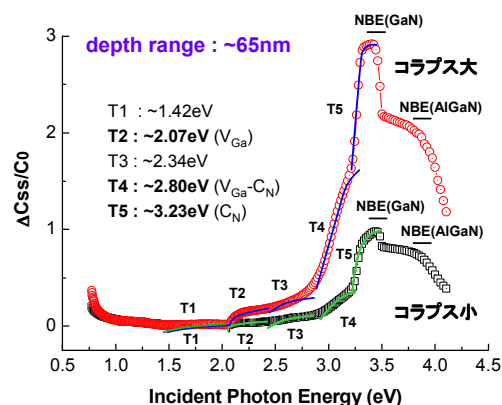


図2. 電流コラプス量の異なるAlGa_N/Ga_Nヘテロ構造の光容量スペクトル

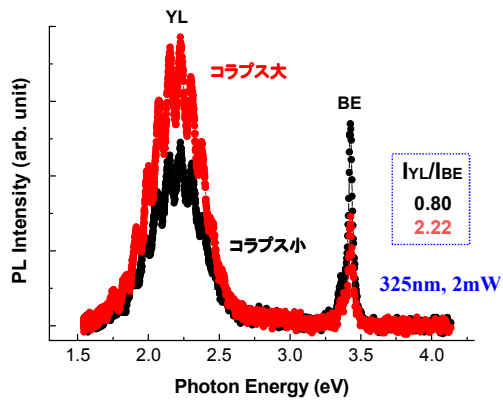


図 3. 電流コラプス量の異なる AlGaIn/GaN ヘテロ構造の室温 PL スペクトル

(3) GaN バッファ層の MOCVD 結晶成長条件 (成長温度, V/III 原料比) をパラメータとした多様な結晶性を有する AlGaIn/GaN ヘテロ構造を作製し、GaN バッファ層に不純物である炭素が残存する程、炭素取り込みに起因する上記の 3 つの欠陥準位濃度が増加することを再確認した (図 4)。

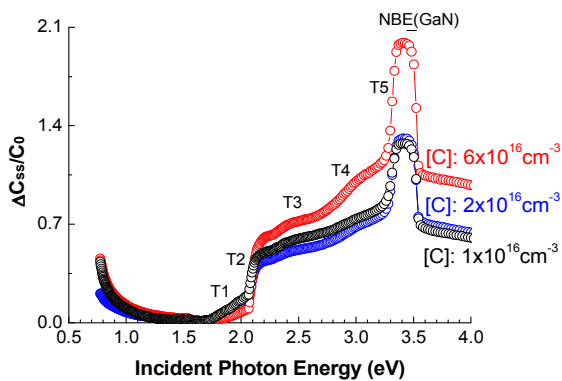


図 4. 残存炭素量の異なる AlGaIn/GaN ヘテロ構造の光容量スペクトル

(4) デバイスのオフ状態からのターンオン時の電流回復特性の照射波長依存性から、伝導帯下 2.80eV と 3.23eV に存在する炭素関連の欠陥準位が 2 次元電子ガスのキャリアトラップとして働き、室温でのスイッチング特性を支配していることが分かった (図 5(a), (b))。

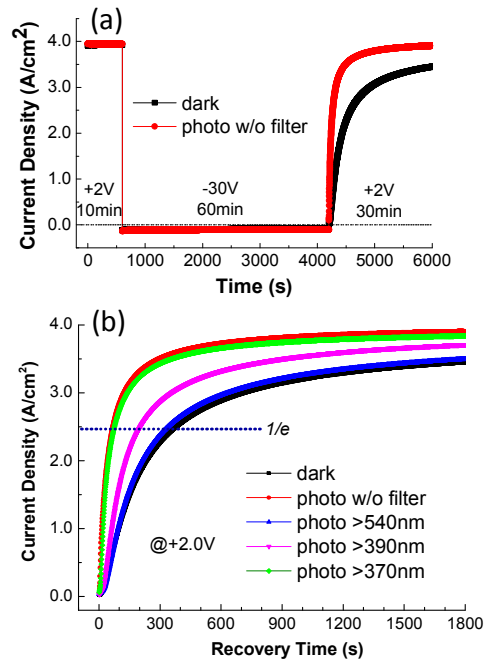


図 5. ターンオン電流回復特性の照射波長依存性

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 Y. Nakano, Y. Irokawa, Y. Sumida, S. Yagi, H. Kawai, Correlation between deep-level defects and turn-on recovery characteristics in AlGaIn/GaN hetero-structures, *Journal of Applied Physics* **112**(10), 106103 (2013), 査読有, DOI : 10.1063/1.4767367.
- ② Y. Nakano, Y. Irokawa, Y. Sumida, S. Yagi, H. Kawai, Effect of Carbon Impurity Incorporation on Band-Gap States in AlGaIn/GaN Hetero-Structures, *Electrochemical and Solid-State Letters* **15**(2), HH44-HH46 (2011), 査読有, DOI : 10.1149/2.025202esl.
- ③ Y. Nakano, Y. Irokawa, Y. Sumida, S. Yagi, H. Kawai, Photo-Capacitance Spectroscopy Investigation of Deep-Level Defects in AlGaIn/GaN hetero-structures with different current collapses, *Physica Status Solidi (RRL)* **4**(12), 374-376 (2010), 査読有, DOI : 10.1002/pssr.201004421.

[学会発表] (計 8 件)

- ① Y. Nakano, Correlation between

Deep-Level Defects and Current Collapses in AlGa_N/Ga_N Hetero-Structures (招待講演), 11th International Symposium on Advanced Technology, 2012年10月31日, 工学院大学(東京).

- ② Y. Nakano, Y. Irokawa, Y. Sumida, S. Yagi, H. Kawai, Correlation between turn-on recovery characteristics and deep-level defects in AlGa_N/Ga_N hetero-structures, International Workshop on Nitride Semiconductors 2012, 2012年10月16日, 札幌コンベンションセンター(札幌) Sapporo.
- ③ Y. Nakano, Y. Irokawa, Y. Sumida, S. Yagi, H. Kawai, Correlation between Current Collapses and Deep-Level Defects in AlGa_N/Ga_N Hetero -Structures Probed by Photo-Capacitance Spectroscopy, 9th International Conference on Nitride Semiconductors, 2011年7月13日, Scottish Exhibition and Conference Centre (Glasgow, UK).

[図書] (計1件)

- ① 中野由崇 (分担執筆)、第4章第2節「AlGa_N/Ga_Nヘテロ構造の欠陥準位評価」、Ga_N パワーデバイスの技術展開(S&T 出版)、2012年4月、総ページ264(p. 127-136).

[産業財産権]

○出願状況 (計1件)

名称：ワイドギャップ半導体のバンドギャップ電子物性測定方法及び測定装置

発明者：中野由崇、中村圭二

権利者：同上

種類：特許

番号：特願 2012-168032

出願年月日：24年7月30日

国内外の別：国内

[その他]

ホームページ等

<http://www.chubu.ac.jp/about/faculty/profile/18fda985f369f45f4e48e0e57ab46fa441142616.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中野 由崇 (NAKANO YOSHITAKA)

中部大学・総合工学研究所・准教授

研究者番号：60394722

(2) 連携研究者

色川 芳宏 (IROKAWA YOSHIHIRO)